

The background of the book cover is a vibrant cosmic scene. It features a large, dark nebula with glowing edges in shades of blue, green, and yellow. Several bright stars are scattered across the dark blue space, some with prominent diffraction spikes. The overall composition is dramatic and awe-inspiring, typical of astronomical imagery.

CHRISTOPHE GALFARD

O UNIVERSO EM SUAS MÃOS

UMA JORNADA PELO UNIVERSO
COMO ELE É ENTENDIDO
HOJE PELA CIÊNCIA



Casa da Palavra

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Ficha Técnica Copyright © 2015 Christophe Galfard

Tradução para Língua Portuguesa © 2016 Casa da Palavra, Carlos Szlak Todos os direitos reservados e protegidos pela Lei 9.610, de 19.2.1998.

É proibida a reprodução total ou parcial sem a expressa anuência da editora.

Este livro foi revisado segundo o Novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa.

Título original: The Universe in Your Hand: a journey through space, time and beyond Preparação: Breno Barreto e Maitê Z ickuhr

Revisão: Pedro Staite

Capa: D29 | Leandro Dittz e Sílvia Dantas

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Angélica Ilacqua CRB-8/7057

Galfard, Christophe

O universo em suas mãos: uma jornada pelo universo como ele é entendido hoje pela ciência / Christophe Galfard; tradução de

Carlos Szlak. – Rio de Janeiro: Casa da Palavra, 2016.

Título original: The Universe in Your Hand ISBN: 9788577346066

1. Astrofísica – Obras populares 2. Cosmologia 3. Espaço e tempo I. Título II. Szlak, Carlos

16-0178 CDD 523.01

Índices para catálogo sistemático:

1. Astrofísica – Obras populares

CASA DA PALAVRA PRODUÇÃO EDITORIAL

Av. Calógeras, 6, sala 701 — Rio de Janeiro 21.2222-3167 21.2224-7461

editorial@casadapalavra.com.br

www.casadapalavra.com.br

CHRISTOPHE GOLFARD

O
UNIVERSO
E M
SUAS
MÃOS

UMA VIAGEM PELO
TEMPO, ESPAÇO E ALÉM

Tradução
Carlos Szlak



Casa da Palavra

Para Marius e Honoré

Prefácio Antes de começar, gostaria de compartilhar duas coisas com você.

A primeira é uma promessa; a segunda, uma ambição.
A promessa é que o livro contém apenas uma equação.
Aqui está ela:

$$E = mc^2$$

A ambição, minha ambição, é que, neste livro, não deixarei nenhum leitor para trás.

Você está prestes a iniciar uma jornada pelo universo como ele é entendido hoje pela ciência. É a minha crença mais profunda que todos nós podemos entender essa matéria.

E a jornada começa a uma longa distância de casa, no outro lado do mundo.

PARTE I

O cosmos

Capítulo 1

Um estrondo silencioso

Imagine-se numa ilha vulcânica distante, numa noite de verão quente e sem nuvens. O mar ao redor está tão tranquilo quanto um lago. Apenas marolas alcançam a areia branca. Tudo está silencioso. Você está deitado na praia. Seus olhos estão fechados. A areia quente, seca pelo Sol, aquece o ar saturado com cheiros doces, exóticos. Há paz em todas as direções.

À distância, um som agudo e selvagem o estremece e o faz encarar a escuridão.

Em seguida, nada.

Aquilo que emitiu um som agudo agora está em silêncio. Apesar de tudo, não há nada a temer. A ilha pode ser perigosa para algumas criaturas, mas não para você, um ser humano, o mais poderoso dos predadores. Em breve, seus amigos se juntarão a você para um drinque. Você está de férias e, assim, se deita sobre a areia, concentrando-se nos pensamentos dignos de sua espécie.

Uma miríade de luzes minúsculas pisca em todo o imenso céu noturno. Estrelas. Mesmo a olho nu você as vê em toda parte. E se lembra das perguntas que fez quando criança: o que são essas estrelas? Por que brilham? Quão distantes estão? E agora se pergunta: algum dia *realmente* saberemos? Com um suspiro, você relaxa sobre a areia quente e deixa de lado essas questões, pensando: por que devemos nos preocupar?

Uma minúscula estrela cadente risca com delicadeza o céu e, no exato momento em que você está prestes a fazer um pedido, a coisa mais extraordinária acontece: como se em resposta à sua última pergunta, 5 bilhões de anos subitamente passam, e o fato seguinte que você descobre é que não está mais na praia, mas sim no espaço sideral, flutuando através do vazio. Você pode ver, ouvir e sentir, mas seu corpo desapareceu. Você se transformou em algo etéreo. Mente pura. E nem mesmo tem tempo de se perguntar o que

acabou de acontecer, ou de gritar e pedir ajuda, pois está na mais peculiar das situações.

Na sua frente, a algumas centenas de milhares de quilômetros, uma bola está voando contra um fundo de minúsculas estrelas distantes. Brilha intensamente com uma luz laranja-escuro, move-se em sua direção, gira. Você não demora muito para perceber que sua superfície está coberta com rochas derretidas e que aquilo que você está vendo é um planeta. Um planeta liquefeito.

Chocado, uma pergunta vem à sua mente: que megafonte de calor é capaz de liquefazer um mundo inteiro desse jeito?

Mas então uma estrela, imensa, surge à sua direita. O tamanho dela, em comparação com o do planeta, é simplesmente espantoso. E a estrela também gira. Além disso, move-se através do espaço. E parece estar crescendo.

O planeta, embora muito mais perto, agora parece uma bola de gude laranja, encarando uma bola gigante, que continua a crescer num ritmo avassalador. Já está o dobro do tamanho que tinha há um minuto. No momento, possui uma cor vermelha e expelle furiosamente megafilamentos de plasma quente, numa temperatura de milhões de graus centígrados, que explodem através do espaço, numa velocidade que parece ser muito próxima da velocidade da luz.

Tudo o que você vê é de uma beleza atordoante. De fato, você está assistindo a um dos acontecimentos mais violentos proporcionados pelo universo. E mesmo assim não há som. Tudo é silêncio, pois o som não se propaga no vácuo espacial.

Certamente, a estrela não será capaz de manter esse ritmo de crescimento. Mas mantém. Está agora além de qualquer tamanho que você possa ter imaginado, e o planeta liquefeito, golpeado por energias além de sua força, é lançado para o nada. A estrela nem mesmo percebe. Continua crescendo, alcança cerca de cem vezes o tamanho inicial e, então, subitamente explode, espalhando toda a matéria da qual é feita pelo espaço sideral.

Uma onda de choque atravessa sua forma fantasmagórica, e, então, só resta poeira, espalhada em todas as direções. A estrela não existe mais. Tornou-se uma nuvem espetacular e colorida, que agora se propaga no vazio interestelar a uma velocidade digna dos deuses.

Lentamente, muito lentamente, você recobra seus sentidos, e, à medida que se dá conta do que acabou de acontecer, uma lucidez estranha se apossa de sua mente com uma verdade apavorante. A estrela que morreu não era uma estrela qualquer. Era o Sol. O nosso Sol. E o planeta derretido que sumiu no interior de seu brilho era a Terra.

Nosso planeta. Nosso lar. Perdido.

O que você testemunhou foi o fim de nosso mundo. Não um fim teórico nem uma fantasia absurda de origem supostamente maia. Mas sim um fim real. Um que a humanidade sabia que aconteceria desde muito tempo antes de você nascer; 5 bilhões de anos antes do que acabou de ver.

Conforme tenta reunir esses pensamentos, sua mente é instantaneamente enviada de volta ao presente, dentro de seu corpo, na praia mais uma vez.

Com o coração disparado, se senta e olha ao redor, como se despertando de um sonho estranho. As árvores, a areia, o mar e o vento estão ali. Seus amigos estão chegando. Você consegue vê-los à distância. O que aconteceu? Você adormeceu? Sonhou com aquilo que viu? Uma sensação estranha se espalha através de seu corpo, enquanto suas perguntas começam a mudar: pode ter sido real? O Sol de fato explodirá um dia? Nesse caso, o que acontecerá com a humanidade? Alguém é capaz de sobreviver a esse apocalipse? Tudo pertinente à própria memória de nossa existência desaparecerá no olvido cósmico?

Contemplando mais uma vez o céu iluminado pelas estrelas, você tenta desesperadamente compreender o que aconteceu. No fundo do coração, sabe que não sonhou com tudo aquilo. Embora sua mente esteja de volta à praia, reunida com seu corpo, sabe que realmente viajou além de seu tempo, para um futuro distante, para ver algo que ninguém deveria ver.

Respirando fundo a fim de se acalmar, começa a escutar ruídos estranhos, como se o vento, as ondas, os pássaros e as estrelas estivessem murmurando uma canção que só você consegue escutar, e, subitamente, percebe o que todos eles estão cantando. É tanto uma advertência como um convite. De todos os possíveis futuros em jogo, eles murmuram, apenas um caminho permitirá que a humanidade sobreviva à morte inevitável do Sol e à maior parte das demais catástrofes.

O caminho do conhecimento, da ciência.

Uma jornada aberta somente aos seres humanos.

Uma jornada na qual você está prestes a embarcar.

Outro som agudo e selvagem atravessa a noite, mas você dificilmente o escuta dessa vez. Como se a semente que acabou de ser plantada em sua mente já estivesse começando a brotar, sente a ânsia de descobrir aquilo que é conhecido a respeito desse seu universo.

Com humildade, erguendo seus olhos de novo, você agora contempla as estrelas com os olhos de uma criança.

O universo é feito de quê? O que existe nas proximidades da Terra? E mais além? Quão longe podemos ver? O que é conhecido a respeito da história do universo? Ele tem uma história?

Enquanto as marolas alcançam docilmente a praia, enquanto você se pergunta se seremos capazes de investigar esses mistérios cósmicos, o brilho das estrelas parece embalar seu corpo num estado de semiconsciência. Você consegue escutar as conversas de seus amigos que se aproximam, mas, de modo estranho, já sente o mundo de maneira diferente da que sentia alguns minutos antes. Tudo parece mais rico, mais profundo, como se sua mente e seu corpo fizessem parte de algo muito, muito maior que algo que você tinha pensado antes. Suas mãos, suas pernas, sua pele... Matéria... Tempo... Espaço... Campos entrelaçados de forças ao seu redor...

Um véu que você não sabia que existia foi erguido do mundo, para revelar uma realidade misteriosa e inesperada. Sua mente anseia estar entre as estrelas, e você tem a sensação de que uma jornada extraordinária está prestes a levá-lo para muito longe de seu mundo de origem.

Capítulo 2

A Lua

Se você está lendo este texto, significa que já viajou 5 bilhões de anos na direção do futuro. Um bom começo, por qualquer padrão. Assim, deve estar confiante que sua imaginação está funcionando bem e que isso é perfeito, pois a imaginação é tudo que você precisa para viajar através do espaço e do tempo, da matéria e da energia, para descobrir o que sabemos a respeito de nossa realidade, a partir de uma perspectiva do início do século XXI.

Você não pediu, mas, por acaso, viu o destino que espera a humanidade – na verdade, todas as formas de vida da Terra –, se nada for feito para entender o funcionamento da natureza. Para sobrevivermos a longo prazo, para evitarmos ser engolidos por um Sol furioso e agonizante, nossa única chance é aprender como tomar o futuro em nossas próprias mãos. Para isso acontecer, precisamos desvendar as leis da natureza em si e aprender a como dar bom uso a elas. É justo dizer que temos muitos obstáculos a superar. Nas páginas a seguir, porém, devemos ver quase tudo que se sabe até agora.

Viajando pelo nosso universo, você descobrirá em que consiste a gravidade e como os átomos e as partículas interagem sem se tocarem. Descobrirá que nosso universo é predominantemente composto de mistérios e que esses mistérios levaram à introdução de novos tipos de matéria e energia.

Então, depois de ver tudo que é conhecido, saltará para o desconhecido e verá no que alguns dos físicos teóricos mais brilhantes da atualidade estão trabalhando para explicar as realidades mais estranhas das quais, por uma casualidade, fazemos parte. Universos paralelos, multiversos e dimensões extras entrarão em cena. Depois disso, seus olhos provavelmente estarão brilhando com a luz do conhecimento e da sabedoria que a humanidade reuniu e aprimorou durante milênios. Mas você deve se preparar. As descobertas realizadas durante as últimas décadas mudaram tudo a respeito do que

acreditamos ser verdade: nosso universo não é só incomensuravelmente maior do que o previsto, mas também é imensamente mais belo do que qualquer um que nossos antepassados poderiam ter imaginado. E já que estamos tratando disso, eis outra boa notícia: ter entendido tanto quanto já sabemos, torna a nós, seres humanos, diferentes de todas as outras formas de vida que já habitaram a Terra. E isso é uma coisa boa, pois a maioria das outras formas de vida foi extinta. Os dinossauros dominaram a superfície de nosso planeta por cerca de 200 milhões de anos, enquanto nós fazemos isso por não mais do que algumas centenas de milhares de anos. Eles tiveram muito tempo para começar a questionar seu ambiente e entender algumas coisas. Mas não fizeram isso. E morreram. Atualmente, nós, seres humanos, temos a expectativa de poder ao menos detectar um asteroide ameaçador cedo o bastante para tentar desviá-lo. Assim, já temos alguns poderes que os dinossauros não tinham. Pode ser injusto dizer isso, mas, em retrospecto, podemos ligar a extinção dos dinossauros à sua falta de conhecimento da física teórica.

Por enquanto, porém, você ainda está na praia, e a lembrança do Sol agonizante ainda está vívida em sua mente. Você ainda não tem tanto *insight* e, para ser honesto, os pontos cintilantes que salpicam a noite parecem completamente indiferentes com sua existência. A vida e a morte das espécies terrestres não fazem diferença para eles. Aparentemente, o tempo, no espaço sideral, funciona em escalas que seu corpo não é capaz de compreender. Provavelmente, toda a existência das espécies aqui na Terra não dura mais do que um estalar de dedos para esses distantes deuses cintilantes...

Trezentos anos atrás, um dos cientistas mais famosos e brilhantes de todos os tempos, Isaac Newton, da Universidade de Cambridge, físico e matemático britânico que nos deu a lei da gravidade universal, pensou nestes termos a respeito do tempo: para ele, havia o tempo dos seres humanos, sentido por todos nós e medido por nossos relógios, e havia o tempo de Deus, que é instantâneo, que não flui. Do ponto de vista do Deus de Newton, a linha infinita do tempo humano, estendendo-se para trás e para frente, na direção do infinito, é apenas um instante. Ele vê isso tudo num único piscar de olhos.

No entanto, você não é Deus, e, enquanto observa as estrelas, seu amigo silenciosamente lhe serve um drinque, a imensidade da tarefa à mão começa a parecer avassaladora. Tudo isso é muito grande, muito distante, muito estranho... Por onde começar? Você não é físico teórico, mas também não é do

tipo que desiste fácil. Tem olhos e sua mente é curiosa; assim, se deita sobre a areia e se concentra no que consegue ver.

O céu é predominantemente escuro.

E existem estrelas.

E, no meio das estrelas, seus olhos percebem uma faixa turva, que cintila com uma fraca luz esbranquiçada.

Independentemente do que seja a luz, você sabe que a faixa é denominada Via Láctea. Sua largura parece ser cerca de dez vezes maior do que a Lua cheia. Você a observou inúmeras vezes quando era mais jovem, mas não tanto recentemente. Agora, quando observa a Via Láctea, percebe que ela é tão visível que seus antepassados conhecem desde sempre. Você tem razão. É irônico pensar que, após séculos, durante os quais homens e mulheres discutiram sua natureza, agora saibamos o que a Via Láctea é, embora a poluição luminosa a torne invisível na maioria dos lugares habitados.

De sua ilha tropical, porém, a presença da Via Láctea é avassaladora, e, conforme a Terra gira com o avanço da noite, ela se move através do céu, como o Sol durante o dia, de leste para oeste.

A possibilidade de que o futuro da humanidade está em algum lugar lá fora, além do céu da Terra, começa a se tornar real e atraente em sua mente. Concentrando-se, você se pergunta se é possível ver a olho nu tudo que está no universo. Então, balança a cabeça negativamente. Sabe que o Sol, a Lua, alguns planetas, como Vênus, Marte e Júpiter, algumas centenas de estrelas¹ e aquela faixa nebulosa de poeira esbranquiçada denominada Via Láctea não são Tudo. Há mistérios ocultos lá em cima, fora do alcance da visão, entre as estrelas; mistérios que estão esperando para ser desvendados... Se só você pudesse investigar tudo isso, o que faria? Começaria com a vizinhança da Terra, é claro, e, depois... Depois se lançaria para longe, indo o mais distante possível, e, depois... Sua mente obriga!

Por mais incrível que pareça, sua mente *começa* a se distanciar de seu corpo, para cima, rumo às estrelas.

Uma sensação de vertigem o afeta quando seu corpo e a ilha sobre a qual você está deitado perdem-se rapidamente na distância. Sua mente, moldada como um você etéreo, está se dirigindo para o alto, rumo ao leste. Como isso é possível, você não tem ideia, mas ali está você, mais alto do que a mais alta das montanhas. Uma Lua muito vermelha surge, suspensa, acima de um horizonte distante, e, em questão de segundos, se vê fora da atmosfera terrestre, voando pelos 380 mil quilômetros do vazio que separam nosso planeta de nosso único

satélite natural. Do espaço, a Lua parece tão branca quanto o Sol.

Sua jornada através do conhecimento começou.

Assim como apenas outros doze seres humanos, você alcançou a Lua. Agora, seu corpo fantasmagórico está caminhando sobre ela. A Terra desapareceu abaixo do horizonte lunar. Você está em seu suposto *lado oculto*, o lado que jamais vê nosso planeta. Não há céu azul nem vento. Você vê muito mais estrelas acima de sua cabeça do que em qualquer lugar da Terra, mas elas não cintilam, pois não há atmosfera na Lua. No solo lunar, o espaço começa a um milímetro acima do solo. Há crateras por toda parte; lembranças congeladas do que outrora atingiu aquele solo estéril.

Ao caminhar rumo ao lado da Lua que está voltado para a Terra, a história do nascimento dela flui magicamente para sua mente ávida, e você olha, atônito, para o solo sob seus pés.

Que violência!

Cerca de 4 bilhões de anos atrás, nosso jovem planeta foi atingido por outro, do tamanho de Marte, que se partiu em grandes pedaços. Nos milênios seguintes, todos os fragmentos resultantes da colisão formaram uma esfera única em órbita ao redor de nosso mundo. No fim desse processo, nasceu a Lua sobre a qual estamos agora.

Se acontecesse hoje, essa colisão seria mais do que suficiente para eliminar todas as formas de vida da Terra. Na ocasião, porém, nosso mundo estava vazio. É curioso pensar que, sem essa colisão catastrófica, não teríamos a Lua para iluminar as nossas noites, nem marés significativas, e a vida como conhecemos provavelmente não existiria em nosso planeta. À medida que a Terra azul aparece na sua frente, acima do horizonte lunar, você se dá conta de que eventos catastróficos, numa escala cósmica, podem ser tanto para o bem quanto para o mal.

Nosso planeta de origem, visto de fora daqui, tem o tamanho de quatro Luas cheias reunidas. Uma pérola azul flutuando na frente de um fundo negro e salpicado de estrelas.

A extensão verdadeira de nosso mundo no espaço constitui, e sempre constituirá, uma visão humilhante.

E, conforme você caminha mais e observa a Terra se elevar no céu lunar, ainda que tudo pareça calmo e seguro, já sabe que não pode confiar nessa paz aparente. O tempo possui outro significado fora de nosso planeta, e, dada a

eternidade que continua a se desenvolver, a violência do universo parece inevitável. As crateras que marcam a superfície lunar são um lembrete disso. Centenas de milhares de rochas do tamanho de montanhas, à deriva no espaço, devem ter golpeado a Lua ao longo de eras. E também devem ter atingido a Terra, mas as feridas de nosso planeta cicatrizaram, pois nosso mundo está vivo e esconde seu passado bem fundo sob um solo sempre renovado.

Contudo, dentro desse universo, você percebe subitamente que seu mundo de origem, apesar da capacidade de cura, é frágil, quase indefeso...

Quase.

Mas não por completo. Atualmente ele conta conosco. Conta com você.

*

Colisões, como aquela que levou ao nascimento da Lua, pertencem predominantemente ao passado. Hoje em dia, não há planetas desgarrados ameaçando o nosso mundo, apenas asteroides e cometas soltos – e a Lua nos protege e nos blindas parcialmente desses riscos. Entretanto, o perigo assoma por toda parte, e, quando observa a imagem de cor azul da Terra pairando no céu escuro, uma bola de luz extraordinariamente brilhante se eleva de súbito atrás de você.

Você se vira e vê uma estrela, o objeto mais luminoso e mais violento que pode ser encontrado perto de nosso planeta de origem.

Nós o chamamos de *Sol*.

Está a 150 milhões de quilômetros de nosso mundo.

É a fonte de todo o nosso poder.

E, quando sua mente se torna intensamente subjugada pela quantidade absoluta de luz que emana dessa extraordinária lâmpada cósmica, você deixa a Lua para trás e começa a voar rumo a ela, à nossa estrela local, o Sol, para descobrir por que ela brilha.

¹ Aparentemente, é possível enxergar milhões de estrelas numa noite escura; na realidade, porém, o olho humano consegue distinguir apenas duas centenas numa cidade, e entre quatro e seis mil no campo, longe da poluição luminosa.

Capítulo 3

O Sol

Se a humanidade fosse capaz, de uma forma ou de outra, de coletar toda a energia que o Sol emite num segundo, isso seria suficiente para suprir todas as necessidades de energia do mundo por cerca de meio bilhão a 1 bilhão de anos.

No entanto, à medida que se aproxima cada vez mais dessa estrela, é possível se dar conta de que o Sol não é tão grande quanto você o viu a 5 bilhões de anos no futuro, quando ele chegou ao fim. Contudo, o Sol é grande. Para colocar as coisas nas devidas proporções, se o Sol tivesse o volume de uma grande melancia, a minúscula Terra ficaria a cerca de 43 metros de distância, e você precisaria de uma lente de aumento para olhar para ela.

Você chegou a alguns milhares de quilômetros acima da superfície solar. Atrás de você, a Terra não é mais do que um ponto brilhante. Na sua frente, o Sol preenche metade do seu céu. Bolhas de plasma explodem em todas as direções. Bilhões de toneladas de matéria extremamente quente são expelidas bem diante de seus olhos e atravessam seu corpo etéreo, enquanto espirais imensas, aparentemente aleatórias, desenvolvem-se no campo magnético solar. O cenário é deslumbrante, no mínimo, e, animado pelo poder dele, logo se pergunta do que é que a Terra carece para tornar o Sol tão especial. O que converte uma estrela numa estrela? De onde vem a energia dela? E por que tem de morrer um dia sobre a Terra?

Para descobrir isso, você se dirige para o lugar mais inóspito que pode existir, o núcleo do Sol, mais de meio milhão de quilômetros abaixo de sua superfície. A Terra, em comparação, tem cerca de 6,5 mil quilômetros entre a superfície e o centro.

Ao pular de cabeça na fornalha luminosa, você se lembra de que toda matéria que respiramos, vemos, tocamos, sentimos ou detectamos, mesmo a matéria

que seu corpo real contém, é constituída de átomos. Os átomos são os elementos básicos de tudo. São as peças de Lego de seu ambiente, por assim dizer. Ao contrário do Lego, porém, os átomos não são retangulares. Geralmente, são redondos e consistem de um núcleo denso e em forma de esfera com elétrons minúsculos e distantes girando em torno. No entanto, como o Lego, é possível classificar os átomos pelo tamanho. O menor deles foi denominado *hidrogênio*. O segundo menor foi denominado *hélio*. Reunindo esses dois átomos, tem-se mais ou menos 98% de toda matéria conhecida do universo conhecido. Muita coisa, sem dúvida, mas uma proporção menor do que havia no passado. Há cerca de 13,8 bilhões de anos, acredita-se que esses dois átomos correspondiam a quase 100% de toda a matéria conhecida. Nitrogênio, carbono, oxigênio e prata são exemplos de átomos que podem ser encontrados hoje que não são hidrogênio ou hélio. Então, devem ter aparecido depois. Como? Você está no caminho de descobrir.

Você mergulha cada vez mais fundo no interior do Sol. A temperatura sobe e se torna alucinantemente quente. Ao chegar ao centro, a temperatura alcança 16 milhões de graus centígrados. Talvez até mais. E há muitos átomos de hidrogênio por toda parte, embora tenham sido despojados pela energia circundante: seus elétrons estão livres, deixando os núcleos desguarnecidos. A pressão é tão alta que esses núcleos se encontram tão firmemente compactados pelo peso que toda a estrela exerce sobre seu próprio centro que eles mal possuem liberdade para se mover. Em vez disso, são forçados a se fundir uns aos outros, virando um núcleo maior. Você vê isso acontecendo bem na sua frente: uma *reação de fusão termonuclear*; ou seja, a criação de grandes centros atômicos como resultado dos pequenos.

Depois de formados, quando se movem para fora da fornalha que lhes dá origem, esses centros pesados se associarão aos elétrons solitários e em movimento livre que foram removidos dos núcleos de hidrogênio, e se tornarão átomos novos e mais pesados: nitrogênio, carbono, oxigênio, prata...

Para ocorrer uma reação de fusão termonuclear (a criação de átomos grandes a partir de pequenos), uma quantidade assombrosa de energia é necessária, e essa energia, no caso, é fornecida pela gravidade esmagadora do Sol, que arrasta de modo efetivo tudo para seu centro, comprimindo imensamente. Essa reação não pode ocorrer naturalmente na (ou no interior da) Terra. Nosso planeta é muito pequeno e não é denso o bastante; assim, sua gravidade não é capaz de fazer o centro alcançar a temperatura e a pressão necessárias para desencadear a reação. Por definição, essa é a principal diferença entre um

planeta e uma estrela. Ambos são objetos cósmicos aproximadamente redondos, mas em geral os planetas são pequenos, incluindo centros rochosos, que, às vezes, são cercados por gás. As estrelas, por outro lado, podem ser consideradas imensas usinas de fusão termonuclear. A energia gravitacional das estrelas é tão grande que elas são forçadas pela natureza a produzir matéria em seus centros. Todos os átomos pesados que compõem a Terra, todos os átomos necessários para a vida, os átomos que seu corpo contém, foram produzidos outrora no centro de uma estrela. Ao respirar, você os aspira. Ao tocar sua pele, ou de outra pessoa, toca poeira estelar. Você quis saber anteriormente por que estrelas como o Sol tinham de morrer e explodir no fim de suas vidas, e aqui está nossa resposta: sem esses desenlaces, só existira hidrogênio e hélio. A matéria da qual somos feitos estaria para sempre trancada no interior de estrelas eternas. A Terra não teria nascido. A vida como a conhecemos simplesmente não existiria.

Considerando isso de outra maneira: como não somos constituídos somente de hidrogênio e hélio, uma vez que nossos corpos, a Terra e tudo o que nos cerca também contém carbono, oxigênio e outros átomos, sabemos que nosso Sol é uma estrela de segunda geração, ou até de terceira. Uma ou duas gerações de estrelas tiveram de explodir antes de suas poeiras virarem o Sol, a Terra e nós. Assim, o que desencadeou a morte delas? Por que as estrelas estão condenadas a terminar suas vidas luminosas numa explosão espetacular?

Uma das propriedades incríveis da reação de fusão nuclear é que, por maior que seja a quantidade de energia necessária para desencadeá-la – o peso de toda a estrela! –, ela libera ainda *mais* energia.

O motivo disso pode parecer surpreendente, mas, como você vê isso acontecendo bem diante de seus olhos, não tem outra escolha a não ser aceitar: quando dois centros atômicos fundem-se em um maior, parte de sua massa desaparece. O centro fundido possui menos massa do que os dois que o criaram. É como se a mistura de um quilo de sorvete de baunilha com outro quilo do mesmo sorvete não resultasse em dois quilos de sorvete, e sim menos.

Na vida diária, isso não aconteceria. No mundo nuclear, entretanto, acontece o tempo todo. Felizmente para nós, a massa não é perdida, mas sim convertida em energia, e a famosa equação de Einstein, $E = mc^2$, fornece a taxa de troca.²

No cotidiano, estamos mais acostumados com taxas de troca (nesse caso, taxas de câmbio) relacionando uma moeda com outra, em vez de massa com energia. Assim, para verificar se a equação $E = mc^2$ é uma boa transação por natureza, imagine que a mesma taxa de troca está sendo oferecida no aeroporto

John F. Kennedy para a conversão de uma libra esterlina (que é a massa inicial) em dólares norte-americanos (a energia que obtemos a partir disso). Então, a taxa de troca é c^2 , na qual “c” corresponde à velocidade da luz, e “ c^2 ” é a velocidade da luz multiplicada por si mesma. Para uma libra esterlina, você obtém 90 trilhões de dólares. Uma transação muito boa, eu diria. De fato, é a melhor taxa de troca da natureza.

Evidentemente, a massa perdida em cada reação de fusão nuclear única é muito menor. Mas há tantos átomos que se fundem por segundo no interior do centro do Sol que a energia liberada é enorme, e tem de ir *para algum lugar*. Assim, essa energia se põe para fora, no espaço, longe do centro da estrela, de todas as maneiras possíveis. No fim, a energia dessa fusão nuclear equilibra a gravidade que pressiona tudo na direção do centro, deixando estável o tamanho de nossa estrela. Sem isso, se a gravidade fosse o único participante, o Sol encolheria.

A fusão nuclear emite uma imensa quantidade de luz e partículas, que, por acaso, convertem tudo nas proximidades numa sopa luminosa de núcleos e elétrons que é denominada *plasma*.

Essa explosão de luz, calor e energia é que faz a estrela brilhar.

O Sol, sendo uma estrela, não é uma grande bola de fogo – o fogo precisa de oxigênio, e, embora o Sol crie uma pequena quantidade desse elemento, junto com outros pesados, não há suficiente oxigênio livre no espaço sideral para sustentar qualquer fogo. O Sol, como todas as estrelas no céu, é simplesmente uma bola brilhante de plasma luminoso, uma mistura quente de elétrons, de átomos despojados de *alguns* de seus elétrons (são denominados *íons*) e de átomos despojados de todos os seus elétrons (o núcleo atômico desguarnecido).

Desde que haja núcleos minúsculos suficientes para pressionar juntos em seu centro, a gravidade do Sol e a energia de fusão permanecerão em equilíbrio, e temos bastante sorte de estarmos vivendo perto de uma estrela que está nesse estado.

Na realidade, não tem nada a ver com sorte.

Se o nosso Sol *não* estivesse nesse estado, não estaríamos aqui.

E como agora sabemos, o Sol não ficará em equilíbrio para sempre: algum dia, o centro de nossa estrela ficará sem seu combustível atômico. Nesse dia, não haverá mais impulso para fora irradiando do centro para concorrer com a gravidade. Então, a gravidade assumirá o controle e desencadeará a sequência final da vida de nossa estrela: o Sol encolherá e ficará mais denso, até uma reação de fusão nuclear ser desencadeada de novo, só que longe do centro,

mais perto da superfície. Essa reação de fusão renascida não equilibrará a gravidade, mas a subjugará, e a superfície solar será expandida, fazendo nossa estrela crescer. Você viu isso acontecer durante sua viagem para o futuro. Então, uma explosão final de energia anunciará a morte do que você já testemunhou, espalhando pelo espaço todos os átomos que o Sol produziu durante toda a sua vida, embora criando alguns outros: ainda mais pesados, como o átomo de ouro. No fim, esses átomos se misturarão com os resíduos de outras estrelas agonizantes próximas, formando imensas nuvens de poeira estelar, que, talvez, semearão outros mundo num futuro distante.

Por meio da estimativa da quantidade de hidrogênio deixada no centro de nossa estrela, os cientistas conseguem conjecturar quando essa explosão acontecerá. O resultado afirma que o Sol explodirá dentro de 5 bilhões de anos, aproximadamente, numa quinta-feira, com uns três dias de margens.

2 Sei que você provavelmente sabe, mas, seja como for, vou esclarecer, apenas para garantir: na equação $E = mc^2$, “E” corresponde à energia e “m”, à massa, enquanto “c” equivale à velocidade da luz. Assim, essa equação, a única que encontrará neste livro, significa que podemos literalmente converter massa em energia, e vice-versa.

Capítulo 4

Nossa família cósmica

O que descobriu acerca do Sol até aqui o deixa mais familiarizado com o tema do que qualquer ser humano que viveu antes de meados do século XX. Toda a luz que banha seus corpos dia após dia vem de átomos produzidos no centro de nossa estrela, de partes de sua massa transformadas em energia. A Terra, porém, não é o único objeto celestial que se beneficia da energia solar.

Num piscar de olhos, sua mente está de volta à superfície quente e borbulhante do Sol, e você olha ao redor, como um falcão. Oito pontos brilhantes estão se movendo contra um fundo aparentemente fixo de estrelas distantes. Esses pontos são planetas, ou seja, esferas cheias de matéria, muito pequenas para sonharem em se tornar estrelas um dia. Quatro desses planetas, os mais próximos do Sol, parecem mundos rochosos muito pequenos. Os quatro mais distantes são constituídos predominantemente de gás. Ainda são muito pequenos em relação ao Sol, mas gigantescos em comparação com a Terra, o maior planeta dos quatro pequenos mundos rochosos. Porém, com exceção da Terra – e ainda que todos nascessem da mesma nuvem de poeira de estrelas mortas há muito tempo –, nenhum desses mundos nem nenhuma de suas centenas de luas é um possível abrigo para o futuro da humanidade. Todos estão envolvidos pela gravidade do Sol, e todos desaparecerão com a expansão derradeira de nossa estrela. Abrigo, se houver algum a ser encontrado, deverá ficar mais além.

Com uma sensação de urgência, sua mente se lança para o lugar mais distante possível, para dar uma olhada no que existe além da esfera de influência do Sol. Ao longo do caminho, você fará uma visita aos primos distantes de nosso planeta, os gigantes de nossa família cósmica.

Você está aproximadamente três vezes mais distante do Sol do que a Terra

está. Mercúrio, Vênus, Terra e Marte, os quatro pequenos mundos rochosos mais próximos do Sol, já ficaram para trás. Nesse lugar, nossa estrela é um ponto luminoso, com metade do tamanho de uma moeda de um centavo mantida a um braço de distância. Um típico meio-dia de julho no Reino Unido, o dia mais quente do ano, por exemplo, pareceria mais frio que o inverno mais frio na Antártida, se a Terra estivesse aí.³

A luz solar fica cada vez mais escassa à medida que você se afasta de nossa estrela.

Você passou rapidamente por algumas rochas, restos dos primeiros dias da formação de nosso planeta. Geralmente, são asteroides em forma de batata que, juntos, formam o que os astrônomos chamaram de *cinturão de asteroides*, um anel enorme de rochas que circundam o Sol, separando os quatro pequenos planetas rochosos do mundo dos gigantes. As rochas em si estão bastante espalhadas e, conforme você voa através do cinturão, dá-se conta de que dificilmente há alguma chance de atingir uma das rochas. Inúmeros satélites artificiais atravessaram sem problemas.

Deixando o cinturão para trás, agora passa por Júpiter, Saturno, Urano e Netuno, os gigantes de gás, todos planetas enormes com centros rochosos relativamente pequenos, profundamente encobertos por atmosferas imensas e turbulentas. Todos esses planetas parecem ser abençoados com um sistema de anéis magnífico, embora o de Saturno supere de longe, em tamanho e beleza, todos os outros juntos.

Você os sobrevoa e os observa com o respeito que esses mundos gigantescos merecem, ainda que não sejam apropriados para a vida.

Além de Netuno, o planeta mais distante que orbita o Sol, você talvez tenha esperado não ver mais nada, só que não é o caso. Outro cinturão está ali, composto de todos os tipos e tamanhos de “bolas de neve sujas”, mais uma vez e provavelmente subprodutos do nascimento de nosso sistema solar, quando seus atuais elementos se agregaram a partir da poeira restante de estrelas explodidas há muito tempo. Esse cinturão é denominado *Cinturão de Kuiper*. Nesse lugar, o Sol parece uma cabeça de alfinete; ou seja, apenas outra estrela. Dificilmente qualquer calor parece alcançar essas regiões distantes, mas há alguma ação.

De vez em quando, devido a colisões e outras perturbações, uma ou mais dessas “bolas de neve sujas” são expelidas de suas tranquilas e distantes órbitas ao redor do Sol. Atraídas por nossa estrela, alcançam lentamente climas mais quentes e começam a derreter à medida que aceleram contra a radiação solar,

deixando longas caudas de pequenas rochas glaciais que brilham no escuro. Tornam-se uma dessas maravilhas celestes que denominamos *cometas*. Em novembro de 2014, a robusta sonda Philae, da Agência Espacial Europeia, pousou sobre um cometa para estudar sua superfície. A nave espacial Rosetta, que levou a sonda até ali, está orbitando o cometa ao passo que o mesmo se aproxima e se afasta do Sol, para observar suas camadas externas se transformarem em gás...

O pobre Plutão – que, recentemente, perdeu seu título de planeta, sendo reclassificado como planeta-anão – também faz parte desse cinturão glacial, junto com (ao menos) dois outros planetas-anões, denominados Haumea e Makemake. É curioso pensar que Plutão, com sua lua Caronte, está tão longe do Sol, e tem tanto espaço para viajar a fim de completar uma única translação ao redor dele, que menos de um de seus anos de translação passou entre o momento em que foi descoberto e denominado planeta, e o momento que foi despojado desse título, 76 anos terrestres depois. De fato, os astrônomos levaram décadas para ver que Plutão tinha apenas um quarto do tamanho de nossa Lua. Claro que o Plutão castanho sujo que acabou de sobrevoar não foi afetado minimamente pela reclassificação, e, em pouco tempo, você o deixa para trás, indo ainda mais além da proteção segura de nossa estrela luminosa.⁴

Todos os planetas, planetas-anões, asteroides e cometas que você viu estão mais ou menos sobre um disco achatado, em cujo centro brilha o Sol. Mas o que está vendo agora não. Um reservatório de bilhões de bilhões de bilhões de potenciais cometas formam uma meganuvem esférica, que parece ocupar todo o espaço existente entre o Sol e o domínio de outras estrelas. Esse reservatório é denominado *Nuvem de Oort*.

Seu tamanho é espantoso.

Marca o limite do domínio de nossa estrela, que contém todos os membros de nossa família cósmica, uma família denominada *sistema solar*.

Além disso, você ingressa em territórios inexplorados e se dirige para o que é considerada a estrela mais próxima da nossa. Foi descoberta em 1915. Ou seja, há um século. Exatamente quando nosso universo começou a ser entendido. Seu nome é *Proxima Centauri*.

³ Em 2013, um dos satélites meteorológicos da Nasa registrou uma temperatura de $-94,7^{\circ}\text{C}$ na Antártida: a temperatura mais fria já registrada na Terra. Onde você está neste momento seria mais frio.

⁴ Em julho de 2015, com o objetivo de estudar Plutão mais de perto, a nave espacial New Horizon, da Nasa, chegou ao planeta em uma viagem histórica que revelou características extraordinárias que ninguém

esperava, incluindo sinais enigmáticos de recentes atividades na superfície.

Capítulo 5

Além do Sol

Seu corpo ainda está na praia, em algum lugar de nosso planeta, mas sua mente agora está tão distante da Terra quanto a Voyager 1.⁵ Ao atravessar a extremidade da Nuvem de Oort, você saiu do sistema solar e ingressou no domínio de outra estrela. Ao atravessar essa linha imprecisa – como se para entender realmente o que o limite significava –, viu alguns dos cometas mais externos do sistema solar mudarem de órbita: de uma curva distante centrada no Sol, a trajetória deles torna-se uma curva distante centrada em outra estrela; a estrela à qual você está se dirigindo agora: Proxima Centauri.

A Proxima Centauri pertence a uma família de estrelas denominada anãs vermelhas. É muito menor que o Sol (cerca de um sétimo de seu tamanho e sua massa) e apresenta uma cor ligeiramente avermelhada. Por isso o nome. As anãs vermelhas são muito comuns; de fato, os cientistas acreditam que são responsáveis pela maioria das estrelas do céu, embora sejam muito sutis para enxergarmos a olho nu.

Ao se aproximar cada vez mais dessa estrela, continuamente a vê passar por mudanças violentas em seu brilho e expelir grandes quantidades de matéria quente flamejante de maneira ligeiramente irregular. Existem planetas ao redor dessa anã vermelha? Você não vê nenhum.

O que é uma vergonha, de certo modo – pois, embora seja muito difícil viver de maneira confortável num planeta que orbita Proxima, uma civilização que crescesse ali seria capaz de planejar um futuro muito, muito distante. Quando nossa estrela, o Sol, explodir, Proxima não terá mudado nem um pouco. Pelo que sabemos, Proxima ainda estará brilhando da maneira que brilha agora por cerca de trezentas vezes a idade atual do universo. Um tempo muito longo, por qualquer padrão.

Sendo menor que o Sol, os núcleos atômicos minúsculos que compõem

Proxima se fundem em núcleos maiores num ritmo muito, muito menor. O tamanho não importa: quanto maior a estrela, menor sua expectativa de vida... E, quanto aos planetas que as orbitam, a distância é o fundamental. Para ter água líquida na superfície (e ser capaz de manter a vida como conhecemos), um planeta não pode ser nem muito frio, nem muito quente. Para isso, não pode estar nem muito perto, nem muito longe da estrela da qual orbita. A zona ao redor de uma estrela que permite que água líquida permaneça na superfície de um planeta é denominada *Zona Goldilocks* ou *Zona habitável*. E se você pudesse achar outra anã vermelha, com um planeta semelhante à Terra que a orbita exatamente na distância correta? Então, isso poderia se assemelhar ao nosso mundo gentil, e basicamente durar para sempre...

Sentindo-se um tanto culpado por ter tido esse pensamento, você se vira para observar seu sistema solar de origem, seu mundo de origem, esperando que o Sol brilhe mais que os outros pontos brilhantes do céu. No entanto, esse não é caso, e, subitamente, se conscientiza do tamanho absoluto das distâncias cósmicas.

Se você não fosse mente pura, mas um astronauta real, quanto tempo levaria para enviar um sinal desse lugar para casa?

Se você estivesse equipado com um celular interestelar, poderia tentar ligar para alguns amigos em cada uma das paradas, para compartilhar suas descobertas com eles. Os celulares transformam a voz num sinal que viaja à velocidade da luz, fazendo a comunicação na Terra parecer instantânea. No espaço sideral, porém, as distâncias são muito grandes, e nada mais parece instantâneo. Da Lua, a luz leva cerca de um segundo para chegar à Terra. E outro para retornar. Se perguntasse a um amigo na Terra se ele conseguiu vê-lo por meio de um binóculo quando você estava ali, a resposta dele o teria alcançado dois segundos depois.

Do Sol, teria sido pior. A luz leva cerca de oito minutos e vinte segundos para percorrer a distância entre a Terra e o Sol. As conversas começam a ficar complicadas, pois um interlocutor deve esperar mais de dezesseis minutos entre uma pergunta e uma resposta. No entanto, o Sol ainda é só um vizinho em termos cósmicos. Uma ligação feita agora, de onde você está, próximo de Proxima Centauri, enviaria um sinal que faria um celular tocar na Terra em cerca de quatro anos e dois meses. Qualquer resposta para uma pergunta sua não levaria menos que oito anos e quatro meses para alcançá-lo.

Você ainda só chegou à estrela mais próxima da Terra depois do Sol, mas parece uma distância imensa de casa. Assim, procura algo para ajudá-lo a se localizar, para que você não se perca.

Lembrando-se da bela Via Láctea vista de sua praia na ilha tropical, olha ao redor para ver onde sua nebulosa mancha branca de luz está agora. Para sua imensa surpresa, imediatamente percebe que a Via Láctea não parece mais uma linha reta densa, mas sim um anel inclinado, com algumas partes mais brilhantes que outras, e está em algum lugar no interior dela. Você se dá conta de que, se a Via Láctea parecia uma faixa a partir da Terra, era porque a própria Terra, sob seus pés, estava ocultando a maior parte dela.

Sem pensar duas vezes, não tendo encontrado nenhum planeta ao redor de Proxima Centauri, você se dirige direto para a parte mais brilhante da Via Láctea.

Você ainda não sabe, mas está viajando agora para o centro de uma reunião de cerca de 300 bilhões de estrelas. Uma reunião que foi designada *galáxia*.

⁵ A Voyager 1, sonda espacial da Nasa, é o objeto artificial que alcançou o local mais distante da Terra. Lançada em 1977, alcançou o limite externo do sistema solar em 2013. Ainda está transmitindo dados para a Terra, sendo capaz de responder a novos comandos. Suas baterias devem durar até 2025. Em 2016, um sinal enviado pela sonda levou cerca de dezoito horas e quarenta minutos para alcançar a Terra, na velocidade da luz. No futuro, levará mais tempo conforme a sonda se afastar ainda mais do nosso planeta. Para obter atualizações em tempo real sobre sua posição, acesse www.voyager.jpl.nasa.gov.

Capítulo 6

Um monstro cósmico

Ao pensar a respeito disso, deve haver algo especial no centro de uma reunião de 300 bilhões de estrelas. Considere a Terra. Seu centro é o lugar mais denso, mais quente e mais duro que há (dentro da Terra). Considere o sistema solar. Em seu centro, situa-se o Sol, o lugar mais denso, mais quente e mais duro que há (dentro do sistema solar). Isso pode não dizer nada, mas sugere que provavelmente também há algo grande acontecendo no centro de uma galáxia. Algo realmente grande.

Tão rápido quanto o pensamento, você sobrevoa dezenas de milhões de estrelas. Algumas são muito maiores que o Sol, condenadas a levar vidas ainda mais curtas, e outra são minúsculas, propensas a brilhar durante um tempo além da imaginação. Também sobrevoa berçários estelares, nuvens de poeira compostas de resíduos de centenas de estrelas explodidas, e cemitérios estelares esperando se fundir e se tornar outros berçários estelares. E agora aí está você. Perto do centro galáctico, independentemente do que isso significa, e, de repente, você se detém.

Bem na sua frente, há de novo um anel. Um colorido anel giratório feito de matéria dispersa. Observando com mais atenção, percebe que é composto de gás e bilhões de rochas e cometas, todos se movendo ao redor de uma fonte densa, em forma de rosca, de luz brilhante e energética.

O que está acontecendo aqui? O que são essas rochas e esses fragmentos glaciais que estão em translação? Você olha ao redor um pouco mais além, e o que enxerga parece não ser possível; não são só rochas perdidas que orbitam esse anel: também há estrelas. Estrelas perfeitas. Sem planetas. Estrelas sozinhas. E elas estão se movendo muito rápido.

Até 2015, uma delas era o objeto conhecido mais rápido do universo. A estrela é chamada de S2, ou *Source 2*. Da Terra, os cientistas a viram completar

uma órbita em torno da rosca em cerca de quinze anos e meio. Dadas as distâncias envolvidas, isso significa que a S2 se move com a assombrosa velocidade de 17,7 milhões de quilômetros por hora. Mas como isso é possível? Que besta possui suficiente poder gravitacional para manter próximo esse objeto rápido como um raio? É *possível* gerar essa força?

Imagine uma bola de gude e uma tigela para salada.

Se mover a bola de gude muito lentamente contra a parede da tigela, ela irá imediatamente para o fundo. Se movê-la muito rápido, ela subirá em espiral e escapará para fora da tigela, quebrando algo em sua cozinha. No entanto, se movê-la na velocidade correta, a bola de gude se deslocará continuamente num círculo, a alguma distância entre o fundo e o topo da tigela, sem escapar, nem cair, até o atrito transformar boa parte de sua velocidade em calor e desacelerá-la.

Agora, imagine que a bola de gude é a estrela S2 super-rápida e que existe uma tigela invisível mantendo-a em órbita em torno do que quer que se situe dentro da rosca brilhante. No espaço, não existe atrito; assim, não há motivo para a estrela perder parte de sua energia.⁶ De acordo com a velocidade da S2, podemos, portanto, imaginar a forma da tigela e, por conseguinte, a massa que se situa no fundo dela.

Esse cálculo um tanto direto foi realizado muitas vezes pelos cientistas e sempre fornece uma resposta incrível: para criar um campo gravitacional com a força correta para a S2 não ser arremessada para o espaço sideral, necessita-se de uma massa de mais de 4 milhões de Sóis. De fato, seria uma megaestrela.

No entanto, temos um problema: não há estrela visível dentro da órbita da S2. Você pode procurar por uma o quanto quiser e não encontrará nenhuma.

Na Terra, para enxergar o que é esse objeto de massa equivalente a 4 milhões de Sóis, que impede a S2 de escapar, os cientistas construíram telescópios capazes de detectar radiações específicas que nossos olhos não conseguem enxergar; isto é, radiação ultravioleta ou, para uma vista mais detalhada, a segunda mais energética de todas as radiações que conhecemos, os raios X. Por meio desse telescópio, eles não conseguem enxergar um objeto, mas enxergam rajadas energéticas de radiação que se originam no interior do anel, de algum lugar minúsculo ali. O que impede a S2 de escapar não só não é uma estrela, como também está longe de ser tão grande quanto devia ser. Tanto que, de fato, os cientistas possuem uma única explicação para o que deve estar escondido ali: um buraco negro. Um supermassivo.

Os cientistas o denominaram *Sagittarius A** (pronuncia-se “Aestrela”), mas eles não conseguem realmente estudá-lo com qualidade visual a partir da Terra, pois seus arredores estão ocultos por estrelas, poeiras e gases situados entre o seu local e o nosso planeta.^z

Você, porém, está bem perto dele, e, se quiser saber o que desencadeia essas rajadas de radiação energética detectadas pelos telescópios na Terra, é capaz de descobrir.

No entanto, compreensivelmente, você não se sente muito seguro estando tão perto de um monstro invisível. Quem sabe o que um buraco negro é capaz de fazer? Sua mente pode ser engolida, talvez sem jamais ser reunificada com seu corpo? Pode ficar presa ali e condenada a perambular para longe de tudo o que conhece? Ou pode haver uma passagem secreta, uma porta levando a outro universo, a outra realidade, como pode ter ouvido as pessoas dizerem algumas vezes?

Em dúvida a respeito do que fazer, você encara as minúsculas partículas de poeira e as outras pequenas rochas que constituem o anel brilhante.

Menos de um minuto depois, um imenso asteroide passa voando por você, a 1 milhão de quilômetros por hora. Você o observa atentamente. Conforme ele acelera através do anel, o vê se transformar em pontinhos de matéria fundida, queimada em virtude do atrito causado pela poeira do anel. Da mesma forma que uma rocha pequena ingressando na atmosfera terrestre pode se tornar uma estrela cadente e queimar por completo sem chegar à superfície de nosso planeta, o asteroide desaparece muito antes de conseguir alcançar o que quer que esteja no interior da rosca.

Quando se vira de novo para procurar mais ação, não é apenas um grande pedaço de rocha que vê agora vindo em sua direção. É uma estrela. Uma estrela grande, brilhante, furiosa. Como a S2. Mas ainda maior. Também irá queimar? Ela penetrará? Você a vê mergulhar rumo ao seu destino e voar através da rosca em certo ângulo. Agora, ela está no interior do anel e fora do alcance da visão, mas logo reaparece, após completar meia órbita, numa maneira estranhamente distorcida, como se uma miragem produzida por alguma força esquisita fizesse a estrela mudar de forma. Ela continua a descer voando. Um enorme estresse parece estar agindo sobre ela. Pedacos da estrela do tamanho de um planeta são arrancados da superfície. Você tenta manter a calma, dizendo-se, em forma de oração, que não há nada a temer, mas você não consegue resistir, e seus pensamentos subitamente parecem exaustivos e pesados, preparando-se para um desastre de proporções desconcertantes...

Até agora, você permanecia etéreo, esquecido pelas forças que governam o universo, mas este não é mais o caso. Cheio de pensamentos pesados, se tornou sujeito à gravidade, e está na presença de seu senhor. Contra sua vontade, é arrastado para dentro; está sendo absorvido, como se deslizando numa rampa escorregadia invisível. Você atravessa o anel de matéria aquecida e se aproxima da estrela em queda, agora despedaçada, que expelle um vento flamejante de plasma incandescente que desce em espiral, absorvendo-o rumo ao buraco negro ainda invisível.

De fato, seus temores são totalmente justificados. Centenas de bilhões de bilhões de toneladas de plasma estão mergulhando junto com você. Seu coração está aos pulos, enquanto você desce em espiral, cada vez mais rápido, até... Até uma tremenda força em redemoinho ejetá-lo para fora. O que resta da estrela se transforma em jatos extraordinariamente poderosos, feitos do que parece ser matéria convertida em energia pura. Confuso, se pergunta se acabou de deslizar para um mundo paralelo dentro de um buraco negro, mas, em pouco tempo, se dá conta de que não, de que você está se deslocando para longe do monstro, de que você foi ejetado, ou rejeitado, pelo senhor da massa. Agora, o anel gigantesco da Via Láctea está visível de novo, muito distante.

Como aconteceu com aquela bola de gude que se moveu muito rápido contra a parede da tigela, você e a poeira da estrela desintegrada foram expelidos antes de terem alcançado o que quer que o buraco negro contenha... Você caiu muito rápido e foi catapultado antes de alcançar o monstro invisível, e o mesmo ocorreu com a estrela, cuja matéria se transformou em dois jatos dos tipos mais energéticos de radiação conhecidos pelo homem: raios X e raios gama. Um está subindo e o outro está descendo, como dois faróis apontando suas luzes não só para o espaço aberto entre as estrelas da Via Láctea, mas também para ainda mais longe, na direção dos vazios maiores.

A velocidade dos jatos é assombrosa, assim como a sua. Você está sendo arrastado e sobrevoando milhões de estrelas, com se um dedo gigantesco usando a Via Láctea como anel estivesse apontando para seu destino.

Talvez não fosse ainda a hora de se arriscar cegamente num buraco negro. Talvez a natureza quisesse que você visse mais das belezas de nosso universo antes de lhe permitir viajar dentro do abraço mortal de um buraco negro...

Independentemente do motivo, seu coração se recupera e seus pensamentos se tornam leves de novo, libertando sua mente do abraço da gravidade. Você está longe e recuperou a liberdade de se deslocar como quiser. No entanto, você segue o jato por um momento, para ver aonde ele leva. Não demora muito

para ver que algo estranho está acontecendo: as estrelas circundantes parecem ser cada vez menos numerosas. Até que, em pouco tempo, não há nenhuma diante de você. Algumas fontes de luz ainda estão brilhando ao longe, mas estão muito mais distantes do que qualquer coisa que você viu até agora. Estranhamente, o anel da Via Láctea também desapareceu. Querendo saber aonde ele foi, você olha para baixo e fica quase sem fôlego com a vista mais extraordinária que já viu. Nenhum ser humano nem objeto algum feito pelo homem já foi abençoado com tal vista. As observações baseadas na Terra obtiveram algumas imagens dos arredores do buraco negro do qual acabou de escapar, mas não disso. Se ligasse para a Terra de sua atual localização, uma resposta – se houvesse – levaria mais de 90 mil anos para alcançá-lo.

Você está acima da Via Láctea. A sua galáxia.

Se achou, erguendo os olhos para o céu noturno de sua praia, que a Via Láctea devia se estender até o fim do universo, agora percebe que não. Longe de ser Tudo, a Via Láctea é apenas uma ilha de estrelas perdida numa imensidão escura de uma escala muito maior.

⁶ Para os colegas cientistas que estão lendo isso, neste ponto inicial do livro, estou desconsiderando as ondas de gravidade.

⁷ Para os aficionados por história, o Sagittarius A* foi detectado pela primeira vez por meio de um radiotelescópio, em fevereiro de 1974, por Bruce Balick e Robert Brown, astrônomos norte-americanos.

Capítulo 7

A Via Láctea

Os primeiros homens que foram ao espaço voltaram quase que comovidos tanto com a beleza de nosso planeta, como com seu tamanho diminuto num oceano de escuridão. Mas esse foi apenas o início. O que você está contemplando agora é ainda mais comovente.

Sabia que a Via Láctea era uma galáxia, mas só agora observa o que isso realmente significa. De cima (ou debaixo, não faz diferença), a nuvem esbranquiçada no céu noturno terrestre não parece uma nuvem, e sim um disco espesso feito de gás, poeira e estrelas. Logo abaixo de você, estendendo-se por distâncias tão grandes que a luz levaria dezenas de milhares de anos para cruzá-las, 300 bilhões de estrelas, unidas pela gravidade, estão girando ao redor de um centro brilhante.

Se considera o sistema solar, com seus planetas, asteroides e cometas, nossa família cósmica; se considera a Proxima Centauri nossa estrela vizinha, então a Via Láctea pode ser considerada nossa megalópole cósmica, uma cidade próspera de 300 bilhões de estrelas, incluindo o Sol.

Entrelaçadas numa dança rodopiante, cercadas pelo vazio, são essas reuniões de estrelas, poeira e gás que os cientistas chamam de *galáxias*. E, da mesma forma que nossa estrela foi batizada de Sol, a Via Láctea é o nome que demos a essa galáxia específica, a nossa galáxia.

Quatro brilhantes megabraços em forma de espiral separados por áreas escuras giram ao redor de seu centro, onde se encontram numa saliência ainda mais brilhante de gás, poeira e estrelas, que oculta tudo debaixo do buraco negro do qual acabou de escapar. Só o jato de matéria energética sendo expelido dele – o jato que você viajou junto – é visível de onde você está.

Você tem dificuldade para entender o que 300 bilhões de estrelas flutuando por conta própria realmente significam, mas não se preocupe muito a esse

respeito: ninguém realmente entende. Mas, se quiser tentar explicar o que está vendo lá em cima para seus amigos quando voltar para sua ilha tropical, os números não ajudarão. Em vez disso, peça-lhes que peguem uma caixa de papelão com um metro de altura e encham até o topo com areia grossa da praia. Agora, peça-lhes que encham trezentas dessas caixas com a mesma areia. Existem tantas estrelas em nossa galáxia quanto grãos de areia em todas essas caixas. Gentilmente, peça que seus amigos voltem para Londres, despejem o conteúdo dessas trezentas caixas sobre a Trafalgar Square, cobrindo-a em forma de disco, e desenhem quatro braços em forma de espiral sobre isso. Então, diga-lhes que se sentem sobre os ombros do almirante Nelson, na coluna construída em homenagem a ele. Eis o que os 300 bilhões de estrelas da Via Láctea parecem para você agora. E, se você marcou um desses grãos de areia com um ponto amarelo antes de seus amigos subirem na coluna, peça-lhes que tentem descobrir qual é. Ele se darão conta de como sua mente sofre estando lá em cima, acima da Via Láctea real, descobrindo onde o Sol está. Sem falar na Terra, que é cem vezes menor. Achar uma estrela é difícil, mas os caçadores de planeta têm um trabalho ainda mais difícil.

De cima da Via Láctea, para achar o Sol, sua mente tem uma vantagem em relação aos seus amigos: pode imaginar todas as fotos de céu noturno que foram tiradas pelos seres humanos, da Terra e também do espaço, para compará-las com o que vê agora. Ao longo dos anos, os cientistas criaram um mapa das estrelas de nossa galáxia, e sem mesmo sair da Via Láctea, eles têm uma ideia bastante precisa de onde o Sol e a Terra se situam dentro dela.

Para cotejar as fotos do céu noturno, você primeiro concentra seus esforços perto do centro galáctico, perto da saliência e do buraco negro, onde tudo é brilho, beleza e poder. Não seria natural para uma espécie tão importante quanto a nossa ter florescido nessa posição tão especial ou bem perto dela? Não seria lógico, dada a nossa importância, e muito justo que o Sol e a Terra fizessem parte dessa grandeza galáctica?

Não. O sistema solar fica a cerca de dois terços do caminho entre o buraco negro central e os arredores de nossa galáxia, em algum lugar sobre um dos quatro braços brilhantes. De forma alguma, um lugar especial.⁸ E, para pôr o dedo da ferida, como você deve agora testemunhar, por maior que possa ser em comparação a nós, mesmo nossa própria galáxia é bastante insignificante na escala cósmica.

Virando-se para encarar o que é excluído ali, para ver além da Via Láctea, você vislumbra bolhas cintilantes que parecem iluminar o universo mais

distante. Você se pergunta: essas bolhas são estrelas soltas? Elas também parecem um pouco turvas... E distantes... Será que elas também podem ser galáxias? Você pode vê-las da Terra a olho nu?

A resposta para a última pergunta é não.⁹

Na Terra, toda vez que você ergueu os olhos para o céu noturno, todas as estrelas das quais já vislumbrou algum brilho pertenceram (e ainda pertencem) à Via Láctea, ao disco em forma de espiral que acabou de ver. Todas elas. Mesmo aquelas estrelas que parecem um tanto longe da faixa esbranquiçada que listra os céus noturnos. A Via Láctea não é uma esfera infinita, mas sim um disco finito, e a Terra não está em seu centro, mas sim mais perto de sua extremidade. Portanto, direções distantes no céu parecem cheias de estrelas de modo muito diferente, da mesma forma que o céu noturno é distinto visto de lugares diferentes da Terra: cada lugar encara uma determinada parte da Via Láctea.

Acontece que o eixo da Terra está inclinado de tal maneira que o hemisfério sul sempre encara o centro galáctico, enquanto o hemisfério norte sempre vê sua margem, onde há muito menos estrelas. Como consequência, as noites no hemisfério norte são um tanto apagadas, em comparação com as do hemisfério sul.

De sua praia na ilha tropical, o que chamou de Via Láctea era apenas uma fatia de sua galáxia, uma faixa contendo centenas de milhões de estrelas, muito distantes para serem vistas individualmente, mas cujas luzes, juntas, formaram a faixa nebulosa. Agora, ao perscrutar o desconhecido longínquo, pronto para fazer sua mente saltar para qualquer lugar que achar mais misterioso, você, de repente, dá-se conta de que todas aquelas bolhas luminosas parecem tão nebulosas quanto a Via Láctea.

Elas também devem ser galáxias.

E, enquanto pensa nisso, ali mesmo, num ângulo, outra galáxia subitamente se eleva. A visão é espantosa. Sua extremidade aparece embaixo da Via Láctea e agora está crescendo rapidamente. É a *galáxia de Andrômeda*, nossa vizinha e irmã galáctica mais velha. É tão grande que é difícil de acreditar que a humanidade levasse tanto tempo para descobrir o que era.

Da Terra, a galáxia de Andrômeda abarca uma parte do céu noturno, sendo cerca de seis vezes maior que a Lua cheia, mas está tão distante que, apesar de seu 1 trilhão de estrelas, só sua saliência central pode ser percebida a olho nu. E essa saliência é muito pequena. O primeiro ser humano a percebê-la (e cujos registros por escrito chegaram até nós) foi o extraordinário astrônomo persa

Abd Al-Rahman Al-Sufi. Perto do fim do primeiro milênio, mais de mil anos atrás, quando muitos homens, em todo o mundo, passavam suas curtas vidas lutando uns contra os outros, inventando aparelhos de tortura astuciosos e temendo o fim do mundo, ele observava as estrelas. Al-Sufi foi um dos maiores astrônomos da idade de ouro islâmica, mas, ao descrever a saliência central da galáxia de Andrômeda como uma nuvem tênue de luz, ele não tinha como saber que era outra galáxia. Ele nem mesmo sabia o que era uma galáxia. Na realidade, esse conhecimento veio cerca de mil anos depois. Ninguém identificava as galáxias como reuniões distintas de estrelas até a década de 1920 e os trabalhos observacionais de Ernst Öpik, astrônomo estoniano, e de Edwin Hubble, astrônomo norte-americano. Eles foram os primeiros a notar que existiam grandes espaços separando esses outros grupos de estrelas da Via Láctea, tornando-se entidades distintas por direito próprio.¹⁰

A galáxia de Andrômeda é a prova cósmica mais evidente de que a Via Láctea não é todo o universo.

Ao considerar, quando se dá conta que a Via Láctea e sua espiral majestosa de 1 trilhão de estrelas giram ao redor uma da outra, você também fica ciente de que todas as galáxias do universo estão envolvidas num balé cósmico, um balé onde os bailarinos são ilhas luminosas isoladas, reuniões de bilhões de estrelas movendo-se na escuridão vazia do espaço.

Transpondo o horizonte cósmico, uma sensação bastante intensa se apossa de sua mente quando ela começa a abranger a Via Láctea, a galáxia de Andrômeda e as outras galáxias, tanto as próximas quanto as distantes.

Num momento puro, abençoado, você subitamente enxerga tudo: dezenas, centenas, milhares, milhões, centenas de milhões de galáxias. Por toda parte, formando grupos de diversos tamanhos. Formando estruturas estranhas, semelhantes a filamentos, que entrecortam todo o universo visível.

Quem teria pensado?

Alguns minutos atrás – ou horas? –, você estava deitado numa praia, de férias, e, agora, todo o universo visível está contido em sua mente. Você alcançou um ponto de vista de que os grãos salpicando o universo não são mais estrelas solitárias, e sim grupos de galáxias, cada grupo contendo milhares de galáxias, elas mesmas compostas por centenas de milhões ou bilhões de estrelas, com a Via Láctea sendo apenas uma delas.

Quando abarca essa visão incrível, quando observa todos esses lugares, você não consegue deixar de pensar que teria o mesmo problema achando sua

galáxia de origem entre todas as outras, ou o Sol dentro da Via Láctea, ou um grão de areia na Trafalgar Square. No entanto, você liberta sua mente e se lança na velocidade do pensamento, e vê galáxias girarem, dançarem e rodopiarem, e se destruírem e colidirem umas contra as outras, e testemunha as muitas galáxias pequenas desaparecerem quando são pura e simplesmente engolidas por alguma vizinha gigantesca.

Agora espere.

Você deve se preocupar com isso?

Num piscar de olhos, voltou para perto da Via Láctea. A galáxia de Andrômeda está sobre sua cabeça. É imensa. Pode ser que ela também algum dia se funda com a Via Láctea? Certamente, as duas galáxias estão se movendo em torno uma da outra, mas outra coisa está acontecendo... Aguçando seu olhar, você subitamente se sobressalta quando percebe que a galáxia de Andrômeda e a Via Láctea estão realmente se aproximando, a uma velocidade espantosa de 100 quilômetros por segundo, restando apenas 4 bilhões de anos antes de colidirem.

Elas começarão a se fundir 1 bilhão de anos antes da explosão do Sol.

Engolindo em seco, perguntando-se como a humanidade poderia ser salva disso, uma sensação de alívio cruza sua mente: as galáxias são tão grandes, e existe tanto espaço entre as estrelas no interior delas, que as colisões galácticas dificilmente fazem as estrelas baterem umas nas outras... Há um risco, sem dúvida, mas você terá de viver com isso por enquanto.

Nesse estágio, é absolutamente normal atravessar a Depressão Filosófica Copérnica. Você pode até começar a querer ter vivido alguns milênios atrás, quando a Terra era plana e, pelo motivo óbvio de que nós, seres humanos, gostamos de nos considerar especiais, situados no centro do universo. Quão tranquilizador deve ter sido acreditar que tudo girava em torno de nós, que os anjos estavam movendo uma maquinaria sagrada ligada a um mecanismo de relógio cósmico, fazendo as estrelas e o Sol se movimentarem. Por que em nome de Deus, no século XV, Copérnico, matemático e astrônomo polonês, teve de arruinar tudo isso e proclamar que o Sol *não* estava orbitando a Terra? Por que, no século XVII, Galileu, matemático e astrônomo italiano, observou que Júpiter tinha luas que não estavam orbitando a Terra (ou o Sol, a propósito), pois estavam orbitando o próprio Júpiter? Por que Öpik e Hubble viram que existiam outras galáxias lá fora? Por quê? Eles começaram tudo isso!

Bem, além do fato de que eles estavam corretos, sem pessoas como Copérnico, Galileu e muitos outros, a humanidade estaria condenada, e – o que é possivelmente pior – eu jamais teria escrito este livro. Você jamais teria viajado apenas por meio do pensamento através de nossa vizinhança cósmica nem para além dela (como você está prestes a fazer). E entre mim e você, não seria uma vergonha se toda a beleza que está oculta lá fora fosse mantida invisível, ou inexplorada, ou – ainda pior – deixada somente para outra espécie inteligente ver de sua própria perspectiva cósmica longínqua?¹¹

E, de novo, enquanto estamos no assunto e o tamanho em si do universo visível começa a penetrar em sua mente, outras espécies realmente existem? Nesses bilhões e bilhões de grupos de estrelas que salpicam um universo escuro, existem anãs vermelhas, como Proxima Centauri, circundadas por planetas? Existem sistemas de sol duplo brilhando sob mundos habitados? Há outras Terras?

Pode parecer quase impossível acreditar que estamos sozinhos nesse universo gigantesco: “Se formos só nós, parecerá um desperdício terrível de espaço”, escreveu, em 1985, Carl Sagan, astrônomo e cosmólogo norte-americano, e, no entanto, trinta anos depois, ninguém da Terra sabe. A existência de vida extraterrestre ainda é uma possibilidade excitante (e também assustadora, sem dúvida), mas, por enquanto, é apenas isto: uma possibilidade. No entanto, isso pode mudar logo, pois nossos telescópios começam a descobrir cada vez mais mundos lá fora. Eu, por exemplo, estou muito esperançoso.

Mesmo durante os anos mais sombrios do passado caótico da humanidade, algumas pessoas desafiaram heroicamente as autoridades religiosas, declarando que, de fato, outros mundos provavelmente existiam. Por exemplo, Giordano Bruno, monge católico italiano, foi queimado vivo em Roma, em 1600, por ter se atrevido a proferir um pensamento herético em voz alta: ele sustentou que existiam “inúmeros Sóis e inúmeras Terras se movendo ao redor de seus Sóis”. Ele morreu sofrendo por acreditar nisso.

Hoje, mesmo que, em minha opinião, muitas pessoas (até nos países mais desenvolvidos) prefiram se manter cegas e surdas a encarar alguns fatos desvendados pela ciência, sabemos mais do que qualquer Inquisição. Possíveis planetas parecidos com a Terra foram descobertos, e Giordano Bruno e seus semelhantes foram defendidos muitas vezes, embora meio recentemente.

De fato, a humanidade tinha conhecimento da existência de planetas como Júpiter ou Vênus havia muito tempo. No entanto, a primeira vez na história que

alguém realmente viu um planeta orbitando uma estrela diferente do Sol ocorreu apenas há vinte anos, quando, em 1995, Michel Mayor e Didier Queloz, dois astrônomos suíços, localizaram um mundo gigantesco, que eles denominaram *51 Pegasi b*, orbitando uma estrela situada a cerca de sessenta anos-luz de nós.

Entretanto, o planeta que Mayor e Queloz descobriram não é habitável, só porque está muito próximo de sua estrela. Porém, é uma planeta. Depois dessa descoberta, alguns outros mundos foram encontrados mês após mês. Até satélites especialmente planejados foram enviados para encontrar outros. O telescópio Kepler, da Nasa, lançado em 2009, é um deles. Hoje, mais de 6 mil candidatos ao status de planeta foram detectados. Entre esses, cerca de 2 mil foram confirmados como sendo planetas orbitando estrelas longínquas. Alguns são sistemas de estrela dupla (planetas orbitando dois sóis), e diversas outras surpresas trarão novas informações. Para se diferenciarem de Vênus, Júpiter e de outros planetas que são parte de nossa família solar, esses mundos longínquos são todos denominados *exoplanetas*. E, a propósito, entre os 2 mil exoplanetas confirmados, mais de dez são potencialmente semelhantes à Terra, e pelo menos três deles, um cuja existência foi confirmada em 2015, ostentam semelhanças impressionantes com nosso planeta (o de 2015 é chamado de Kepler-442b)...

Claro que todos esses outros mundos podem ser estéreis, mas também podem abrigar vida. De fato, acredito que sinais diretos ou indiretos de vida extraterrestre serão descobertos nas próximas duas décadas, aproximadamente. Talvez em um desses candidatos, ou em alguns ainda a serem descobertos. A tecnologia está quase toda desenvolvida para detectarmos sinais de atividade biológica no interior da atmosfera desses mundos remotos. Seria incrível viver até essa descoberta, não seria?

Agora, todos os exoplanetas que foram detectados por enquanto estão dentro da Via Láctea, a nossa galáxia, e, portanto, mais ou menos perto da Terra. Os planetas capazes de existir em *outras* galáxias estão muito distantes para a capacidade de observação de nossos telescópios, ainda que possa haver centenas de bilhões deles por lá.

A galáxia de Andrômeda, por exemplo, pode muito bem ser fervilhante de vida. É a maior de todas as galáxias que circundam a nossa. E está muito próxima. Quer dizer, numa escala galáctica, e não humana. Uma chamada feita nesse momento da Terra para algum lugar perto de uma de seu 1 trilhão de estrelas levaria cerca de 2,5 milhões de anos para alcançar seu destino. Se fosse

para entrar em contato, seria melhor você achar uma pergunta inteligente para fazer. E também numa língua apropriada.

8 No entanto, nossa existência pode torná-lo assim.

9 A menos que tenha olhos muito, muito bons e saiba para onde olhar.

10 No entanto, certos estudiosos pensaram a respeito dessa possibilidade antes; o primeiro deles parece ser Thomas Wright, astrônomo e matemático inglês do século XVIII. Alguns anos depois, Immanuel Kant, filósofo alemão, acrescentou suas ideias às de Wright.

11 Escrevi “*outra espécie inteligente*”, mas, como o teórico, físico e cosmólogo inglês Stephen Hawking brinca muitas vezes, ainda temos de encontrar prova de inteligência aqui na Terra.

Capítulo 8

O primeiro muro no fim do universo

Agora, quão grande é o universo visível?

O que aconteceria se você fosse arremessado rumo ao que pode ser visto, até a maior distância possível?

Ali é o limite de tudo?

Bem, como alguém, mais cedo ou mais tarde, acabará lhe perguntando, e, uma vez que você está reunido com seu corpo, seria melhor tentar descobrir.

Com confiança, escolhe uma direção aleatória e segue esse rumo.

Quando começa a se afastar de sua galáxia de origem, imediatamente se dá conta de que a Via Láctea é parte de um pequeno grupo composto de 54 galáxias ligadas umas às outras por meio da gravidade. Esse grupo foi denominado *Grupo Local* pelos cientistas. Abarca uma esfera de cerca de 8,4 milhões de anos-luz de diâmetro. A Via Láctea é seu segundo maior membro, enquanto a galáxia de Andrômeda é o maior.

Mais além desse grupo, há outros grupos de galáxias. Alguns grupos possuem muitas centenas de galáxias. Essas grandes reuniões, muito maiores do que a nossa, denominam-se *aglomerados de galáxias*. Enquanto mantém seu avanço, você sobrevoa aglomerados gigantescos, os *superaglomerados*, contendo dezenas de milhares de espirais brilhantes, discos ovais compostos de incontáveis estrelas e buracos negros, todas ligadas umas às outras por meio da gravidade e estendidas ao longo do espaço e do tempo. Esses superaglomerados formam estruturas alucinantemente grandes.

À medida que você se afasta de tudo o que conhece e observa o universo numa escala diferente, percebe que terá de reconsiderar mais uma vez seu tamanho relativo no grande esquema das coisas. Com sua imaginação escancarada, se vira e observa por toda parte, colhendo o máximo possível de

luz de todas as direções possíveis, procurando um fim para tudo isso. Não há ideia de parte de cima ou parte de baixo, nenhuma diferença entre esquerda e direita. Nesse momento, você está a mais de 1 bilhão de anos-luz da Terra, e bilhões e bilhões de galáxias luminosas estão espalhadas ao longo de uma escuridão inacreditavelmente grande. Ao seu redor, perto e longe, galáxias e grupos de galáxias, e aglomerados e superaglomerados estão separados por distâncias ainda mais consideráveis, maiores do que todo o caminho que você percorreu até agora.

Que a Via Láctea seja apenas um de todos esses pontos é muito pouco crível, e mesmo assim você sabe que o que vê não é fantasia, mas sim o que é conhecido pela humanidade.

No entanto, fatos verdadeiros ou não, a ideia de salvar a Terra não parece mais fazer qualquer sentido. Por que se incomodar? Por que se preocupar? Compreensivelmente, deixar tudo para trás e vagar para sempre nessa imensidão de beleza incomensurável de uma realidade torna-se um sonho atraente. Por que não passar sua vida lá em cima? É isso que os cientistas fazem, sonhando acordados em seus laboratórios?

Ao considerar a ideia de nunca retornar para sua vida diária, uma sensação estranha toma conta de você e começa a injetar uma nova energia em sua mente: de algum modo, tudo o que está vendo agora, tudo o que está atravessando agora, é aquilo que a humanidade entende que seja o universo. De algum modo, você está viajando através do universo da maneira como é imaginado pelas mentes humanas; assim, toda essa imensidão precisa ser contida dentro dos limites de um cérebro humano, se houver um limite. Por mais incrível que possa parecer, é uma ideia tranquilizadora e o traz de volta para ser um ser humano, um membro de uma espécie capaz de projetar seus pensamentos tão longe quanto o olho consegue ver, e muito, muito além... Abarcando a paisagem espacial, você se pergunta: a magnitude pode ficar ainda maior? Sua mente pode abarcar ainda mais? Independentemente do destino da Terra, você decide que preferiria saber que não. Com seu coração virtual batendo com renovada curiosidade, com desespero, segue em frente e sobrevoa bilhões de outras galáxias. Como é invariavelmente o caso com os seres humanos, a familiaridade logo se manifesta, e mesmo a imensidão do universo para de chocá-lo. O que pode ter parecido desespero um segundo atrás agora parece ter se transformado em alegria.

Por todo lado, vê galáxias colidindo e estrelas explodindo em supernovas, superando em brilho bilhões de suas irmãs, mas num piscar de olhos. Em todo

o universo, tudo se move ao redor de tudo, e você está sendo abençoado por um espetáculo de proporções incríveis e belezas além da compreensão humana.

Seguindo em frente sem olhar para trás, está agora a 10 bilhões de anos-luz da Terra.

Sua mente continua voando para frente e para longe.

Você está a 11 bilhões de anos-luz da Terra.

Doze.

Treze bilhões de anos-luz, e você continua voando.

Agora você se sente inspirado, procura o fim de nosso universo e não o vislumbra, mas sua mente desacelera um pouco, pois as galáxias ao redor estão ficando mais raras. E as estrelas que as constituem parecem estar ficando maiores. Na realidade, consideravelmente maiores. Algumas das estrelas que vê agora são centenas de vezes maiores dos que as estrelas típicas da Via Láctea de hoje. Você continua avançando, embora num ritmo mais lento. Nesse momento, a quantidade de fontes brilhantes de luz na sua frente diminuiu de modo drástico. E, ao alcançar uma distância de cerca de 13,5 bilhões de anos-luz da Terra, quase todas as fontes de luz desaparecem.

Você se detém. É possível que tenha alcançado o que estava procurando? Será que o universo realmente tem um fim?

Você se lembra de ter formulado a pergunta algumas vezes para seus amigos antes da viagem para a ilha tropical, mas nunca tinha dado ao pensamento um significado real. E, nesse momento, se pergunta se é capaz de se afastar eternamente da Terra rumo ao universo externo, continuando a ver galáxias.

Bem, como você está viajando através do universo como este é visto da Terra, deixe-me dizer isto: nossos telescópios nos mostraram algo diferente. De fato, há um limite daquilo que podemos ver – e daquilo que seremos capazes de ver sempre – usando luz. Sua mente ainda não alcançou esse limite, mas logo alcançará. Por enquanto, você está viajando através de um lugar tão remoto no espaço e tempo que as primeiras estrelas nem mesmo nasceram. Por esse motivo, o lugar e a época atravessados foram batizados de *Idade das Trevas cósmica*. Qualquer luz que observamos vinda dali viajou ao longo do universo durante 13,5 bilhões de anos para nos alcançar. É aquela época, numa extensão de tempo que dura cerca de 800 milhões de anos, em que as primeiras estrelas começaram seu trabalho de transformar pequenos átomos de hidrogênio e hélio na matéria de que nós, e os outros planetas e estrelas, somos feitos. Eram a primeira geração de estrelas, com o nosso Sol sendo uma estrela de segunda ou terceira geração.

Enquanto continua avançando, esperando que a escuridão prevaleça para sempre, você subitamente alcança um lugar através do qual a luz não é mais capaz de viajar: a superfície do que parece ser um muro no espaço e tempo. Além dele, o universo não é escuro, mas opaco. Você se detém bem na frente do muro e estende uma mão virtual, para investigar o que se situa mais além.

Arrepios se espalham por sua pele não existente ao tocar o que parece ser uma quantidade imensa de energia. Uma energia tão densa que você, subitamente, entende por que a luz não consegue viajar ali: seria como acender uma tocha dentro de um muro. A luz existe além da superfície que você está encarando, mas não tem liberdade para viajar.

O que alcançou não é produto de sua imaginação. É o lugar mais distante que os nossos telescópios conseguem enxergar. É o lugar no tempo e espaço onde e quando nosso universo se torna transparente. Nenhuma luz do lado de lá, nenhuma luz de antes desse tempo, jamais alcançará a Terra numa linha reta. Nenhuma luz além desse lugar será captada por algum de nossos telescópios.

Foram necessárias muitas décadas para os físicos teóricos entenderem o significado disso. No fim, como verá no próximo capítulo, eles propuseram uma ideia particularmente brilhante para mostrar o sentido disso, e essa ideia é denominada *teoria do Big Bang*.

Por enquanto, porém, terá de aceitar que acabou de chegar ao fim do universo visível. É uma superfície que foi detectada e mapeada com o auxílio de nossos telescópios. A superfície de uma parede que nenhuma luz consegue atravessar. Foi denominada *superfície de última difusão*.

No entanto, no momento exato que começa a se dar conta de quão estranho e inesperado tudo isso parece, tudo some ao seu redor e você se vê de volta à sua praia na ilha tropical, erguendo os olhos para o céu noturno. As estrelas ainda estão ali, assim como as árvores, o mar e os seus amigos. Eles estão olhando para você de um jeito bem estranho.

Você se senta e descreve a jornada extraordinária que acabou de ter. O Sol morrendo – *precisamos* achar uma solução para esse problema –, o universo tão absurdamente grande... E o muro! O muro que marca a passagem da opacidade para a Idade das Trevas!

Os olhares estranhos de seus amigos se convertem em olhares de preocupação. Eles o erguem da areia e o levam de volta para casa. Enquanto isso, murmuram que talvez os camarões fritos que você comeu não estavam frescos ou que bebeu demais.

Ao leste, algumas horas depois, raios do sol nascente começam a ser refletidos pela poeira contida na atmosfera terrestre (sobretudo os correspondentes à cor azul), difundindo-se em todas as direções, ocultando o espaço longe da vista. Deitado em sua cama, de manhã cedo, cercado pelo canto dos pássaros, você abre os olhos e percebe a silhueta de uma de suas amigas por perto. Aparentemente, ela ficou tomando conta de você durante a noite. Você sonhou tudo aquilo? Sua mente realmente viajou através da imensidão do espaço?

Quando sua amiga pergunta se você está se sentindo melhor e oferece um copo de água, uma brisa matutina acaricia delicadamente sua testa, e você sorri, pensando que, de qualquer jeito, parece bom estar de volta à Terra.

E, em seguida, sorri ainda mais, pois, bem no fundo, sabe que experimentou algo bastante especial e que não sonhou nada daquilo, que foi tudo verdade, que você foi abençoado de ver sem ter de estudar durante anos. Por algum motivo desconhecido, viu o universo como é conhecido hoje.

Aliviada de ver seu sorriso, sua amiga fica de pé e se afasta para trazer o café da manhã. Assim que ela sai, você imediatamente tenta se lembrar de sua experiência, com a sensação de que foi apenas o início de uma aventura muito estranha.

Sentado em sua cama de folhas de palmeira trançadas, observando as ondas baterem na praia, se lembra da Terra como vista do espaço: um ponto diminuto orbitando o Sol. Você se lembra das outras estrelas, bilhões delas, girando ao redor do buraco negro central que se esconde perto do centro da Via Láctea, a nossa galáxia. Em seguida, você se lembra da galáxia de Andrômeda e das cerca de cinquenta galáxias que compõem o Grupo Local, e, depois, rememora os outros grupos, os aglomerados e os superaglomerados de galáxias que se espalham ao longe, até o infinito e para mais além.

Não.

Não até o infinito.

Para a Idade das Trevas e para o muro. A superfície de última difusão, além da qual nenhuma luz consegue viajar livremente.

E você sabe que, independentemente da direção que sua mente tivesse pegado em sua jornada, você teria topado com aquele muro.

Isso dá a impressão de que, numa escala muito maior do que alguém consiga imaginar, a Terra está no meio de uma esfera; uma esfera cujo limite é feito desse muro. O que se situa no interior dessa esfera pode bem ser todo o universo visível, que sempre será acessível à humanidade.

Enquanto deixa esse pensamento entrar em sua cabeça, olha vagamente bem

à sua frente, para o horizonte.

Se a superfície de última difusão cerca a Terra, então nosso planeta deve estar no centro da esfera limitada por aquele muro.

Isso parece lógico.

No entanto, isso significa que a Terra está no centro do universo visível.

Chocado, mal acreditando nisso, você faz um gesto negativo com a cabeça e murmura que nada disso faz sentido.

Não faz sentido de nenhuma maneira.

Por outro lado, sabe o que viu, e, de repente, deseja poder voltar lá em cima e dar outra olhada naquilo tudo.

Para se preparar, deixe-me só dizer que a superfície que você viu, a superfície de última difusão, não é o fim da história. Existem pelo menos duas outras superfícies mais além, com muros atrás delas. A primeira é denominada o Big Bang propriamente dito. A segunda esconde o que causou o Big Bang.

Antes de chegar ao fim deste livro, você viajará até esse segundo muro, e além dele.

Mas primeiro deve ir com calma.

Afinal, você está de férias, e sua amiga voltou com o café da manhã.

Enquanto come, porém, eu o ajudarei a pôr alguma ordem na experiência que passou.

PARTE II

Decifrando o espaço sideral

Capítulo 1

Lei e ordem

Você já tentou pular de um penhasco? Ou pela janela do último andar de um arranha-céu?

Provavelmente não.

Por quê?

Você estaria morto.

E eu também, se eu tivesse tentado, assim como qualquer pessoa.

Agora, por que todos nós sabemos disso?

A resposta é tão óbvia quanto misteriosa e profunda. Nela reside o motivo pelo qual a raça humana já conseguiu conquistar a Terra e uma pequena parte do céu. Nela reside o motivo pelo qual conseguimos enviá-lo para observar as estrelas na primeira parte deste livro. Tem a ver com a natureza e suas leis.

Por mais instruídos que sejamos, quer gostássemos de ciência na escola ou não, quer sejamos cientistas ou não, se buscarmos profundamente dentro de nós mesmos, todos nós teremos a intuição de que existem leis na natureza e de que essas leis não podem ser violadas. Alguém pular de um lugar muito alto ser condenado a cair rumo a um final fatal é uma dessas leis.

Ao longo do milênio que nos separa de nossos antepassados caçadores-coletores, muitos homens e mulheres estiveram buscando essas leis de forma contínua. E eles conseguiram encontrar algumas. Atualmente, o campo que se empenha em continuar essa busca e, além disso, desvenda os mistérios da natureza é denominado *física teórica*, e é através de seu reino (sempre sob construção), cujas portas estão prestes a se abrir, que você vai poder viajar.

Esse reino foi possivelmente construído quando Isaac Newton, astrônomo, físico, matemático e filósofo natural inglês, criou uma nova linguagem – a da análise matemática –, que lhe permitiu descrever quase tudo o que está dentro

do alcance dos sentidos humanos. O motivo pelo qual a pessoa cai quando pula de um penhasco, em vez de caminhar sobre o ar, é dado por uma fórmula. Desde que saibamos quando a queda começa, a fórmula de Newton nos revela onde e quão rápido a queda terminará. A mesma fórmula também revela que não há diferença entre um ser humano, uma esponja ou uma pedra em relação à queda de um penhasco, desde que esqueçamos a resistência do atrito induzido pelo ar. Também revela que a Lua conclui uma órbita ao redor da Terra em pouco menos de 28 dias e que a Terra gira ao redor do Sol uma vez por ano. Essa fórmula específica denomina-se *lei da gravitação universal de Newton*. Por isso, Isaac Newton ainda é considerado hoje uma das mentes mais brilhantes de todos os tempos.

Não há necessidade de ser cientista para supor que a descoberta dessa lei deve ter causado uma sensação muito agradável, e que Newton deve ter ficado satisfeito consigo mesmo. Estranhamente, porém, em vez de dar festas todas as noites para comemorar (como eu teria feito), Newton preferiu se certificar de que tinha razão. Assim, ele começou a verificar se sua fórmula de gravitação merecia ser batizada de universal. Nesse caso, a escala é indispensável, pois, como você já descobriu na primeira parte deste livro, em comparação com o universo, a Terra é muito pequena para se gabar, no mínimo. E o que é verdade para um ponto minúsculo de poeira pode não ser verdade para uma galáxia.

Na Terra, na época de Newton, não havia uma única experiência que pudesse provar que sua fórmula estava errada ou que pudesse até mesmo desafiá-la. Uma flecha, por exemplo, sempre aterrissava onde devia. E uma montanha também teria, se alguém houvesse arremessado uma.

Agora, que tal coisas ainda maiores? Que tal lugares onde os efeitos da gravidade são mais intensos do que aqueles encontrados em nosso planeta? Para descobrir isso, temos de olhar além da Terra. E, como você já viajou pelo universo próximo, sabe que o lugar mais óbvio e mais fácil de começar a verificação também é o mais brilhante: o Sol.

Capítulo 2

Um pedaço de rocha incômodo

A gravidade na superfície do Sol – o jeito que esta o puxa para baixo sobre a superfície – é cerca de 28 vezes mais forte do que a de nosso planeta, mas nossa estrela não é o objeto mais poderoso em termos de gravidade que você encontrou durante a descoberta do espaço sideral, na primeira parte deste livro. Os buracos negros, por exemplo, são muito mais potentes. No entanto, o Sol supera a Terra e é muito mais fácil de investigar do que os buracos negros. Assim, será que a fórmula de Newton funciona ao redor de nossa estrela tão bem quanto funciona em torno de nosso planeta? E como podemos verificar?

Como você viu, há oito planetas no sistema solar. Do mais distante do Sol ao mais próximo, são: Netuno, Urano, Saturno, Júpiter, Marte, Terra e Vênus. Talvez possamos dar uma olhada mais atenta de como eles se movimentam pelo espaço e verificar se o Sol os atrai da maneira prevista pela lei de Newton. Graças a diversos astrônomos que puseram de lado sua vida familiar para observar as estrelas durante a existência noturna, a humanidade até tinha uma descrição precisa de algumas dessas órbitas no tempo de Newton.¹² E a resposta é quase boa demais para ser verdade: se levarmos em conta como os planetas interagem entre si, todos os planetas relacionados acima¹³ se movem exatamente de acordo com a fórmula de Newton. Que alívio... Realmente, a fórmula é universal. A mãe de Newton deve ter ficado muito orgulhosa.

Mas espere um minuto. Aqueles com olhos aguçados sem dúvida notaram que um planeta está faltando na lista. Só mencionamos sete dos oito planetas que pertencem ao sistema solar. Esquecemos um. Aquele mais próximo do Sol. Aquele que aparentemente a força da gravidade do Sol atrai mais do que todos os outros: Mercúrio.

E, em relação a Mercúrio, há um pequeno problema. Uma leve divergência. Nada grande. Algo tão pequeno que, de fato, não pode importar muito. Mas

importa. Ao longo dos dois séculos posteriores ao trabalho de Newton, essa leve divergência mudou tudo o que a humanidade sabia a respeito de espaço e tempo.

Mercúrio não impressiona muito. Só um pouco maior que a nossa Lua, é o menor planeta do sistema solar. É rochoso, e sua superfície é cravejada de crateras, que têm pouca probabilidade de desaparecer num futuro próximo. Mercúrio não possui atmosfera, nenhum estado atmosférico para aplainar formas e cicatrizes irregulares. Em resumo, Mercúrio não é o tipo de planeta que alguém escolheria como destino de férias. Para concluir uma volta completa sobre seu eixo leva 59 dias terrestres; ou seja, uma noite em Mercúrio dura um mês na Terra, sendo seguida por um dia igualmente longo. Em Mercúrio, tanto o dia como a noite são infernais. As temperaturas diurnas podem alcançar 430°C , enquanto as noturnas podem chegar a -180°C . Newton não conhecia esses detalhes, e, provavelmente, não podia nem mesmo imaginar quão inóspito Mercúrio é. Hoje, nós sabemos. E hoje também sabemos que, de acordo com sua fórmula, a trajetória de todos os planetas ao redor do Sol parece um círculo levemente achatado. Como mencionei antes, em relação a todos os planetas, o cálculo de Newton estava (e ainda está) perfeitamente de acordo com as observações. Se os planetas deixassem um rastro para trás, cada um deles traçaria um círculo achatado, uma *elipse*, no céu; uma trajetória que eles tornariam a traçar ano após ano, exatamente como Newton disse que traçariam. Mas não Mercúrio. A órbita de Mercúrio, por uma casualidade, gira sobre si mesma, como um ovo que vai tombando extremidade sobre extremidade, de modo que Mercúrio não torna a traçar a mesma trajetória duas vezes. Isso se deve *principalmente* aos outros planetas – eles atraem o minúsculo Mercúrio para si mesmos toda vez que chegam perto –, como Newton já tinha conjecturado. *Principalmente*, porém. Não inteiramente. A divergência é muito pequena, mas existe. Visualize o espaço entre dois segundos consecutivos num relógio (um de outrora, com ponteiro grande e ponteiro pequeno) e divida esse espaço por quinhentos. Uma única dessas divisões é o ângulo pelo qual o círculo achatado de Mercúrio se desvia do cálculo de Newton ao longo de um século.

Pode parecer inacreditável que esse desvio diminuto fosse identificado sem que os cientistas tivessem de esperar algumas centenas de milhares de anos. Pior: agora sabemos que não há maneira de a fórmula de Newton poder prevê-lo, e muito menos explicá-lo, pois essa divergência tem a ver com um aspecto da gravidade muito além do que Newton poderia ter imaginado.

A equação de Newton quantifica como os objetos atraem uns aos outros, mas não diz nada a respeito do que a gravidade realmente é. Realmente, o pobre Newton (e muitos outros cientistas) passou uma quantidade grande de tempo tentando entender a origem da gravidade. É uma propriedade da própria matéria que faz os objetos atraírem uns aos outros? Todos os objetos do universo estão ligados? Em caso positivo, pelo quê? Nenhuma corda elástica, visível ou invisível, foi detectada entre nossos pés e o chão de nosso planeta, ou entre a Terra e a Lua. E que tal uma ligação magnética? Bem, os ímãs não aderem aos nossos pés quando tentamos mantê-los ali, pois nossos corpos são eletricamente neutros. Então, a gravidade não pode ser uma força magnética. Assim, o que é gravidade? E por que o teimoso Mercúrio, o menor dos planetas, diferencia-se dos outros?

Newton morreu em 1727. Ele não conseguiu encontrar uma explicação. Cento e oitenta e oito anos se passaram até alguém, de repente, propor uma nova ideia particularmente estranha.

¹² Urano e Netuno foram descobertos depois. Na realidade, graças à fórmula de Newton.

¹³ Incluindo Urano e Netuno.

Capítulo 3

1915

O bom a respeito da pesquisa em física é que, quando as observações não conseguem ser compatíveis com a teoria, a primeira coisa que sustentamos é que a observação deve estar errada. Então, tentamos repetir a experiência, e, se a experiência fornece uma resposta errada de modo persistente e frequente, verificamos se, por acaso, algum desconhecido previu esse resultado usando uma teoria alternativa. Se a resposta é “não”, é justo supor que não fazemos ideia de por que a natureza se comporta de tal maneira. A opção mais segura é, então, testar tudo. Evidentemente “tudo” inclui as ideias mais loucas, e isso, tenho de dizer, é muito divertido. Como veremos posteriormente, as ideias que estão sendo investigadas hoje para descobrir como nosso universo nasceu são dignas dos melhores modelos de ficção científica (e como sir Martin Rees, barão Rees de Ludlow, astrônomo real, afirmou certa vez, a boa ficção científica é melhor do que má ciência). Em geral, claro que a maioria dessas ideias é completamente equivocada. Mas não importa. O importante é investigar e ver o que acontece. Até agora essa abordagem funcionou muito bem.

Portanto, a fórmula de Newton foi utilizada por quase dois séculos sem problemas, e, para sermos justos, o caso de Mercúrio não teve muito impacto na vida da maioria das pessoas. Mas então, um cientista propôs uma ideia completamente demente a respeito da gravidade.

*

Imagine o Sol, no espaço, com Mercúrio o orbitando, e esqueça todo o restante. Eles estão sozinhos no universo. Um pequeno planeta rochoso orbitando uma imensa estrela luminosa e vazio em todas as direções.

Agora, livre-se de Mercúrio. E livre-se também do Sol.

(Só para esclarecer: não deve ter restado nada.)

E se a gravidade tivesse algo a ver com esse “nada” que restou; isto é, com o próprio tecido do universo (o que quer que isso possa ser)?

Para descobrir o que poderia acontecer se esse fosse o caso, vamos repor o Sol e pensar. Se supormos por um momento que o tecido de nosso universo pode ser modelado, uma das interações mais simples que o Sol pode ter com isso é curvá-lo. Como isso poderia acontecer? Bem, tente imaginar uma bola pesada repousando sobre um lençol de borracha esticado. A borracha vai se curvar para baixo ao redor da bola. Se você então cobrir o lençol de borracha com sabão, qualquer coisa que caminhar sobre ele – uma formiga, por exemplo – e que chegar muito perto da parte curvada irá deslizar na direção da bola, para baixo. Para a formiga, esse efeito pode ser sentido como gravidade.

Evidentemente, se as estrelas e os planetas estivessem todos repousando sobre um tecido de borracha ensaboado, eu deveria esperar que nós teríamos reparado a esta altura. Assim, o tecido do universo não pode ser um lençol de borracha, plano e sólido. No entanto, pode ser um invisível tridimensional, ou até mesmo um quadridimensional. E independentemente do que esse tecido volumoso fosse feito, por que não imaginar o mesmo se curvando ao redor da matéria que ele contém? Não só ao longo de um plano, é claro, mas em todas as direções, como se uma bola imersa no mar estivesse curvando a água ao redor dela.

Assumindo essa ideia a sério por um momento, a gravidade, então, seria meramente o resultado dessa curvatura: sempre que alguém cai, cai não por causa da força que puxa as coisas para baixo, mas porque desliza para baixo sobre um declive invisível no tecido do universo (até alcançar um chão de algum tipo, que impede a queda contínua).

Uma ideia maluca, sim, mas por que não testar? Como as coisas poderiam se mover num universo assim?

Para todos os planetas até Mercúrio, os cálculos geométricos que utilizam essa teoria da “curvatura” realmente dão os mesmos resultados da fórmula de Newton. O que é tão tranquilizador como estimulante. Então, o que dizer a respeito de Mercúrio?

O homem que propôs essa ideia demente de uma “curvatura” descobriu que, num universo como o que ele descreveu, o círculo achatado da órbita de Mercúrio deve girar ao redor do Sol de uma maneira que não concorda com o cálculo de Newton. Por quanto? Por um ângulo correspondente a cerca de um 1/500 de um segundo. Por século. Incrível. Por mais de quinze décadas depois

da morte de Newton, ninguém foi capaz de equacionar isso. Mas esse homem equacionou. Ele tinha razão. De repente, a gravidade não era mais um mistério. A gravidade era uma curvatura do tecido do universo, causada pelos objetos contidos nele. Newton não tinha visto isso. Ninguém tinha visto isso antes, e ainda estamos tentando compreender todas as consequências dessa visão hoje em dia.

Muitas vezes, Stephen Hawking afirmou: “Eu não compararia com a alegria da descoberta da relação sexual, mas dura mais.” Um olhar único para a foto do homem que solucionou o problema de Mercúrio parece confirmar essa afirmação.

Seu nome é Albert Einstein e a teoria que acabamos de apresentar, a teoria que liga a matéria com a geometria local do universo numa teoria da gravidade, é denominada *teoria da relatividade geral*.

A teoria foi publicada em 1915, ou seja, há um século, e os cientistas levaram algum tempo para se dar conta de que Einstein tinha casualmente revolucionado nossa visão de tudo. Ao contrário que todos tinham acreditado antes, ele descobriu que nosso universo não só podia ter uma forma, mas também era dinâmico; ou seja, capaz de mudar com o tempo. Enquanto estrelas, planetas e tudo ali se movem, a curvatura que criam no tecido de nosso universo se move com eles. E o que é verdade localmente em torno desses objetos pode também ser verdade para o universo em geral. Em outras palavras, ainda que ele não acreditasse nisso, Einstein descobriu que nosso universo podia mudar ao longo do tempo; que podia ter um futuro. E, se algo tem um futuro, também pode ter um passado, uma história, e talvez até um começo.

Antes de Einstein, entendia-se que nosso universo sempre *existira*. Agora, sabemos que não, ao menos não da maneira que o experimentamos. E sabemos disso há cem anos. Assim, no que diz respeito ao conhecimento, o universo em que vivemos, o nosso universo, tem cem anos de idade.

Capítulo 4

Camadas de passados

Viajar pelo universo conhecido, como fizemos na Parte I, é um pouco como passear pela floresta de nossa ilha tropical e ficar impressionado com a beleza das árvores. Depois desse passeio, você pode, é claro, voltar para sua casa de praia, convidar seus amigos para beber alguma coisa e dizer a todos quão belo é lá fora, quão bom é respirar o ar puro oceânico. Mas, então, seus amigos podem querer saber de verdade por que as árvores crescem, por que suas folhas são verdes, como todas essas plantas vieram a ser do jeito que são...

Se o universo é nossa floresta, o que existe ali para descobrir a respeito? Em vez de questionar o frescor dos camarões que você comeu, o que aqueles seus amigos deveriam ter perguntado em relação à visão geral? Além de considerar isso, há alguma coisa para entender? E, de verdade, é realmente possível viajar lá para fora do jeito que você viajou?

Para essa última pergunta, a resposta é fácil: só com seu corpo ou numa espaçonave, não. Até onde sabemos – por enquanto –, não é possível viajar pelo espaço e tempo desse jeito, a não ser com sua mente. Nada que transporta algum tipo de informação é capaz de viajar a uma velocidade maior que a da luz. Assim, o que sua mente fez na Parte I foi realmente voar através de uma imagem tridimensional congelada do universo como é conhecido hoje; uma reconstrução a partir de todas as imagens obtidas por todos os telescópios já construídos na Terra. Você pode replicar, dizendo que viu coisas se movendo, que não era apenas uma imagem congelada... Bastante justo. Assim, digamos que era uma imagem “quase” congelada. Agora, o que podemos concluir disso? Há alguma lei que governa a evolução de tudo?

Na manhã seguinte de sua viagem mental, quando sua amiga saiu para buscar o café da manhã, você sabia de maneira intuitiva que ela ainda estava ali, em algum lugar, do lado de fora, mesmo quando não podia mais vê-la, certo? Não

começou a imaginar que ela virara fumaça e viajara ao passado a fim de caçar um dinossauro e cozinhar uma das pernas dele antes de voltar até você. Isso seria bem legal, concordo, mas, da mesma forma que seria insensato pular de um penhasco, ou por uma janela, não iria acontecer. Um motivo fundamental de *por que* isso não aconteceria é muito difícil de enunciar e provar, mas temos de supor algumas coisas se quisermos tentar desvendar os mistérios de nosso universo. Assim, a primeira suposição, ou “postulado”, que faremos é o seguinte: somos capazes, de algum modo, de entender a natureza, mesmo além do que nossos sentidos possam nos dizer. A fim de fazer isso, devemos supor doravante que, sob condições similares, a natureza obedece às mesmas leis por toda parte no espaço e tempo, quer aqui ou lá fora, quer agora, no passado ou no futuro, que possamos ver ou não, quer conheçamos essas leis ou não. Batizaremos isso de nosso **primeiro princípio cosmológico**. Está em negrito porque é importante. Se não supormos isso, ficaremos completamente presos e incapazes de imaginar algo a respeito do que acontece em lugares para os quais não estamos olhando, que estão muito longe de nós, ou muito distantes no tempo. Se não fizermos essa suposição, então sua amiga talvez também esteja viajando pelo tempo para caçar um dinossauro apetitoso.

De fato, há muitos indícios de que esse primeiro postulado está correto, ao menos dentro do universo que vemos por meio de nossos telescópios.

Considere o Sol.

Sabemos que partículas, que frequências da luz, que tipos de energia saem dele. Nós os detectamos quando eles escapam de sua superfície e aterrissam na Terra. Então, o que dizer a respeito de outras estrelas distantes? Elas brilham graças ao mesmo tipo de reação de fusão nuclear ou são completamente diferentes? São como uma lenha em combustão, cercada pelo fogo, ou são compostas de plasma, como o Sol? Não temos muitos instrumentos à nossa disposição para investigar essas dúvidas. De fato, só temos um: a luz que recebemos dessas estrelas. Nessa luz estão codificados muitos de seus segredos, e um desses segredos que fomos capazes de decifrar é que as leis da física são as mesmas por toda parte. Assim, como a luz é fundamental para nosso entendimento do cosmo, vamos dar uma olhada no que ela é.

A luz, também conhecida como radiação eletromagnética, pode ser considerada tanto uma partícula (um *fóton*), quanto uma onda. Como verá posteriormente, ambas descrições não só funcionam, como também devem ser levadas em conta se quisermos entender o nosso mundo. Por enquanto, porém, é suficiente considerá-la simplesmente uma onda.

Para descrever as ondas no mar, você precisa especificar duas coisas: a altura e a distância entre duas cristas consecutivas. Que a altura tem importância é algo evidente: é uma prova de sensatez reagir de maneira distinta em relação a uma onda que se aproxima com 50 metros de altura e a uma onda com apenas 2 milímetros de altura. A ideia é a mesma em relação à luz, e a altura de uma onda está relacionada com o que denominamos *intensidade*.

Da mesma forma, há uma diferença entre ondas no mar que estão separadas por centenas de metros e ondas que estão muito próximas umas das outras. A distância é denominada, muito apropriadamente, *comprimento de onda*. Quanto mais longo o comprimento de onda, menor a quantidade de ondas que chegam durante um determinado período de tempo; um número que está relacionado com a *frequência* da onda. Para intuitivamente sentir que, quanto menor o comprimento de onda (ou maior a frequência), maior a energia envolvida, você pode se imaginar na frente de uma barragem: enquanto uma onda de 5 metros de altura, que atinge uma barragem uma vez por mês, não seria motivo de preocupação, uma onda similar atingindo-a dez vezes por segundo seria. Em relação à luz, é a mesma coisa: quanto menor o comprimento de onda (ou maior a frequência), maior a energia transportada por essa onda.

Agora, ao contrário do que nossos antepassados pensavam, nossos olhos são receptores de luz, e não fontes de luz. E não são feitos para detectar todos os tipos de luz existentes, nem em intensidade, nem em comprimento de onda. Uma fonte muito poderosa destrói pura e simplesmente sua retina, cegando-o em segundos. Isso é o que acontece com quem olha fixamente para o Sol, para alguns lasers ou para qualquer fonte de luz muito intensa. Só podemos olhar para ondas de luz não muito intensas, nem muito fracas.

A limitação de nossos olhos referente ao comprimento de onda é mais sutil. Nos milênios em que nossos antepassados (e, nesse caso, incluímos aqueles que existiram muito antes de possuir uma forma humana) evoluíram, seus órgãos de detecção de luz se adaptaram para ver o que mais precisavam a fim de sobreviver. Para colher uma fruta, ou perceber a presença de um tigre, era bem mais útil enxergar as cores verde, vermelho e amarelo do que os raios X emitidos pelas estrelas cadentes perto de distantes buracos negros. Em resumo, nossos olhos se adaptaram à luz mais necessária para a vida diária. Se só fôssemos capazes de detectar raios X, a extinção já teria nos atingido muito tempo atrás.

No fim das contas, o que nossos olhos podem enxergar hoje é bastante limitado, em comparação com todos os tipos naturais de luz existentes. No

entanto, o universo não se importa. Ele está cheio de todos eles. Mais uma vez de maneira apropriada, denominamos *luzes visíveis* aquelas luzes que conseguimos ver, e demos aos seus grupos individuais alguns outros nomes: cores. A distinção entre uma cor e outra pode, às vezes, parecer um tanto arbitrária, mas existe uma definição matemática bastante precisa, uma definição baseada na distância, ou seja, seu comprimento de onda.

É verdade que as visões de alguns animais evoluíram de modo distinto, tanto que certos animais conseguem enxergar luzes que estão além da capacidade de detecção dos seres humanos. As cobras, por exemplo, possuem visão infravermelha, enquanto alguns pássaros são capazes de detectar radiação ultravioleta, ambas além da capacidade visual humana.¹⁴ Mas nenhum animal construiu aparelhos para detectar todas essas luzes. Exceto nós. E nos tornamos muito bons nisso.

Desde a menos até a mais energética, as luzes que nos cercam são: ondas de rádio, micro-ondas, radiação infravermelha, luz visível, radiação ultravioleta, raios X e raios gama. As ondas de rádio possuem comprimentos de onda muito longos, de 1 metro a 100 mil quilômetros ou mais entre cada onda, enquanto os raios gama apresentam comprimento de onda menor que um bilionésimo de milímetro – mas ambos são luzes. E todos os telescópios que já construímos foram projetados para coletá-los, independentemente da origem e da intensidade, para nos permitir observar o universo através de todas as janelas permitidas por nossas tecnologias. Ao observar o céu, a olho nu ou por meio de algum telescópio, você captura ou processa ondas de luz que foram emitidas no espaço sideral, de algum lugar, por uma fonte distante. Como mencionei anteriormente, foi devido a uma reconstrução tridimensional de todas essas imagens, registradas e relatadas, que você viajou na Parte I. Mas o que pode não ter notado na ocasião é que, embora certamente fosse uma jornada através do espaço, também foi uma jornada através do passado, pois a luz não viaja instantaneamente.

Agora esta é uma pergunta interessante, ainda que sombria, que seus amigos da ilha tropical poderiam ter feito a você: nós todos não ouvimos alguém, em algum lugar, num jantar de gala ou em outra ocasião, afirmar que as estrelas que vemos no céu estão realmente todas mortas?

É verdade? Todas as estrelas estão mortas?

Não, não estão. Não todas elas, ao menos.

Vejamos.

Suponhamos que uma tia-avó sua, parente distante que adora dar vasos de cristal horríveis para todos no Natal, more em Sydney, na Austrália. Sendo um pouco antiquada, ela nunca dá notícias para ninguém, exceto em seu aniversário, em janeiro, quando ela envia pelo correio uma foto sua ao lado da caixa de correio em que ela está prestes a depositar a foto. No verso da foto, ela sempre escreve:

É meu aniversário hoje.

Adoraria ouvir sua voz.

Amor da titia.

PS: Espero que tenha gostado do vaso que lhe mandei.

O problema é que, embora se prometa todos os anos a pensar nela, você não pensa, e, como sempre, no momento que recebe a foto, não é mais “hoje” para ela. Pode até mesmo nem ser mais janeiro. Como de costume, espera que ela não tenha ficado sentada ao lado do telefone o tempo todo, esperando...

Em todo caso, o importante nessa história é que a foto que ela tirou de si mesma logo antes de enviá-la pelo correio, a foto que você agora está segurando, provavelmente não corresponde mais àquilo com que ela se parece agora. Ela pode até estar morta, pelo que sabe, como algumas daquelas estrelas no céu. Agora, não se preocupe, sua tia-avó está bem, você ganhará mais alguns vasos e terá mais algumas tentativas de fazê-la usar e-mail, em vez de correio. Sem dúvida, seria mais rápido, mas não seria *instantâneo*. Nada é. Por meio de e-mail, você ainda obteria a foto dela uma fração de segundo depois do envio. Assim, de novo, ela talvez esteja morta no momento que recebe o e-mail.

A ideia aqui não é deixá-lo paranoico com a ideia de que todas as pessoas que você conhece podem estar mortas. E sim mostrar o que acontece no espaço, onde o serviço de entrega mais rápido possível utiliza a *luz* como recurso de comunicação. E a luz, embora rápida, está muito longe de viajar instantaneamente. No espaço sideral, sua incomparável velocidade alcança espantosos 299.792,458 quilômetros por *segundo*. A luz pode viajar cerca de 26 vezes ao redor da Terra enquanto lê esta frase. É rápida, a coisa mais rápida que existe, mas surpreendentemente lenta considerando as distâncias intergalácticas envolvidas lá fora.

Quando uma estrela brilha, sua luz carrega uma imagem de si mesma. Essa imagem percorre o espaço à velocidade da luz, e pode levar muito tempo para nos alcançar. Isso significa que sim, as estrelas mais distantes que vemos no

céu provavelmente estão mortas. Mas não todas as estrelas. O Sol, por exemplo, não está. Para ser mais preciso, nesse momento ninguém sabe, mas o Sol não estava morto há oito minutos e vinte segundos.

Como vimos na Parte I, a luz do Sol leva cerca de oito minutos e vinte segundos para viajar os 150 milhões de quilômetros que nos separam dele. Isso significa que, se o Sol parar de brilhar *agora*, tomaremos conhecimento desse problema (bastante grande) em oito minutos e vinte segundos. Também significa que, da Terra, você sempre enxergará o Sol como estava antes. Nunca como está *agora*. O Sol que brilha no céu num dia radiante nunca é realmente como você o vê *quando* o vê. Nem mesmo está mais *onde* o vê. Nos oito minutos e vinte segundos que a luz leva para alcançar sua pele, o Sol se moveu cerca de 117.300 quilômetros em sua própria órbita ao redor do centro de nossa galáxia.

Agora, a luz mais distante que conseguimos detectar em nosso universo viajou 13,8 bilhões de anos antes de alcançar nossos telescópios, direto de onde o universo se tornou transparente.

As megaestrelas que começaram a brilhar algumas centenas de milhões de anos depois disso quase certamente não existem mais, ainda que suas luzes nos alcancem agora, tornando-as visíveis para nós.

O mesmo pode ser dito a respeito de diversas outras estrelas entre o Sol e aquelas situadas muito distantes em nosso universo.

Em 24 de janeiro de 2014, por exemplo, os astrônomos observaram uma estrela explodir no céu noturno, numa galáxia longínqua. Eles viram isso ao vivo, quando a luz da explosão alcançou seu telescópio. No que diz respeito a nós, essa estrela morreu em 24 de janeiro de 2014. Mas alguém vivendo perto dela teria testemunhado a explosão como se desenvolveu ali: 12 milhões de anos atrás.

Ninguém consegue viajar para o outro lado do universo. Ninguém consegue se teletransportar para lá instantaneamente. No fim das contas, sondar o céu noturno é como receber cartões-postais únicos, enviados de todos os lugares, todos com selos de diversas épocas e locais, na história pregressa de nosso universo, conforme a data e o local em que começaram sua jornada. Só se emendarmos todos esses postais do limite da eternidade, seremos capazes de reconstruir uma fatia da história desse nosso universo, como é visto da Terra.

Foi através dessa fatia que você viajou na Parte I.

Até setembro de 2015, para coletar informações acerca do espaço sideral,

nossa tecnologia não nos deixava muita escolha: precisávamos usar a luz. Não tínhamos outro meio para investigar os lugares mais longínquos do cosmos. No entanto, agora isso mudou. Um novo instrumento detectou com sucesso um sinal que tinha permanecido impreciso até agora. Um sinal que não é transportado pela luz. Como anunciado em 11 fevereiro de 2016, ondulações do próprio tecido do universo foram detectadas, medidas e analisadas. Essas ondulações não são feitas de luz. Como logo será visto, são feitas de espaço e tempo, que elas esticam e comprimem enquanto fluem na velocidade da luz através de tudo. Esses detectores de onda muito especiais são uma nova janela para analisarmos nossa realidade: agora, somos capazes de detectar o que não pode ser visto usando a luz. E, se você se perguntar o que poderia ser, bem, buracos negros e o Big Bang são bons palpites.

Contudo, ainda não sabemos o que o nosso novo olho revelará. Assim, antes de começar a aprender um pouco mais a respeito dessas ondas e de suas fontes extremamente poderosas, vejamos o que já entendemos ao capturarmos as luzes vindas do espaço sideral e que chegam até nós.

¹⁴ Na realidade, a pesquisa mais recente parece demonstrar que nossos olhos percebem alguma – normalmente invisível – luz infravermelha. O que os nossos cérebros fazem com isso, porém, não é claro...

Capítulo 5

Expansão

Não custa repetir: até hoje, tudo o que sabemos a respeito do universo longínquo vem da luz que nos alcança.

Para decifrar isso, para entender isso, precisamos descobrir exatamente que informação a luz transporta e como ela interage com a matéria e seus elementos básicos – os átomos – que encontra no espaço.

Você mergulhará direto no cerne dos átomos numa parte a seguir deste livro, mas, por enquanto, não é preciso saber tudo a respeito deles. Digamos apenas que os átomos podem ser descritos como núcleos redondos cercados por elétrons giratórios, e que esses elétrons não estão aleatoriamente espalhados, mas sim organizados em camadas ao redor do núcleo.

Pode ser tentador retratá-los como planetas girando ao redor de uma estrela central, mas seria um engano – na realidade, denominamos *orbitais* as trajetórias dos elétrons ao redor de seu centro atômico expressamente para diferenciá-las das órbitas planetárias.

Dada a velocidade correta, um planeta pode teoricamente orbitar sua estrela em qualquer distância que quiser. No entanto, quase certamente esse não é o caso dos elétrons. Ao contrário das órbitas planetárias, as orbitais eletrônicas são separadas por zonas eletrônicas proibidas, lugares onde os elétrons simplesmente não podem estar. Além disso, os elétrons também podem com facilidade – até mesmo espontaneamente – saltar sobre essas áreas proibidas, de um orbital para outro.

No entanto, e aqui está o ponto-chave: esses saltos não ocorrem gratuitamente.

Para se deslocarem de um orbital para outro, os elétrons têm de absorver ou emitir alguma energia.

E como, quanto mais distante um elétron está do núcleo do átomo, maior a energia que ele contém, para um elétron saltar de um orbital para outro mais distante, ele têm de ganhar alguma energia; um pouco como a chama do queimador proporcionando a ascensão de um balão de ar quente.

Por outro lado, para se deslocar para mais perto do núcleo, um elétron precisa emitir alguma coisa a fim de se livrar de parte de sua energia; como um balão que expelle ar quente para se deslocar de volta à Terra.

Mas de onde essa energia vem?

Bem, aí é onde a luz entra: os elétrons podem saltar de um orbital para outro absorvendo ou emitindo alguma luz. Mas não *qualquer* luz.

Para passar de um orbital para outro, é necessário que os elétrons saltem sobre as zonas proibidas eletrônicas que os separam, e realizar tal façanha envolve absorver ou entregar uma quantidade específica de energia, correspondente a um raio de luz específico. Se forem atingidos por alguma luz não suficientemente energética, os elétrons não serão capazes de dar o salto e ficarão onde estão. Inversamente, atingidos por raios de luz muito energéticos, os elétrons poderão saltar sobre diversas dessas zonas e até serem expelidos do átomo ao qual pertencem.

Isso foi descoberto no início do século XX.

Pode não parecer revolucionário, mas é.

Em 1921, Einstein (ele realmente estava por toda parte) recebeu o Prêmio Nobel de Física pela descoberta disso em relação aos átomos que compõem diversos metais.¹⁵

*

Décadas de experiências (e ideias) realizadas desde então a respeito de todos os átomos conhecidos no universo fizeram os cientistas se dar conta de que a energia necessária para um elétron se deslocar de um orbital para outro dentro de um tipo de átomo é específico ao átomo ao qual ele pertence. E isso é muito, muito favorável para nós, pois distintas energias correspondem a distintas fontes de luz – e com nossos telescópios, podemos, é claro, coletar luz de quase qualquer lugar.

Esse simples fato significa que os cientistas podem dizer do que objetos distantes, como estrelas ou nuvens de gás, ou até mesmo atmosferas de planetas distantes, são feitos, sem nunca irem para lá.

Aqui está como.

Imagine uma fonte perfeita de luz, uma que emite todos os possíveis comprimentos de onda, desde a menos energética (micro-ondas) até a mais (raios gama), em todas as direções. Essa fonte perfeita cria uma esfera radiante de brilho. Se houver um átomo situado a alguma distância, seus elétrons, ofuscados por toda a luz entrante, podem, num frenesi, absorver tudo de que precisam para saltar de onde estão para um orbital mais energético. Ao fazerem isso, eles ficam excitados.

Excitados?

Sim. *Excitados*. Esse é o termo técnico correto para o que acontece.

São um pouco como crianças que recebem doces numa festa. E, da mesma forma que não é difícil descobrir mais tarde que doces as crianças preferiram (só é preciso verificar o que restou), você pode descobrir que tipos de luz um átomo absorveu, verificando os tipos que estão ausentes em sua sombra. Todas as luzes não usadas passam desimpedidas através do átomo, e você consegue detectar seus comprimentos de onda característicos com muita facilidade. Aquelas que estão ausentes, por outro lado, aparecem como pequenas manchas escuras sobre um arco-íris contínuo de cores e luz. Esse diagrama é denominado *espectro*,¹⁶ e as manchas escuras são denominadas *linhas de absorção*.

Os cientistas são capazes de dizer, apenas levando em consideração os comprimentos de onda de luz que estão ausentes num espectro, quais átomos estão situados no caminho de uma fonte de luz.

Portanto, ao utilizar a luz, tem-se uma maneira de descobrir que tipo de matéria está lá fora, sem ir até lá.

E todos os telescópios coletores de luz que utilizamos até agora nos revelam que todas as estrelas do universo são feitas da mesma matéria do Sol, da Terra e de nós mesmos. Todos os objetos cósmicos do céu noturno são constituídos dos mesmos átomos que nós.

Se não fosse o caso, os telescópios nos diriam isso.

Portanto, podemos presumir que as leis que governam a natureza são as mesmas em todo lugar.

Eis por que o primeiro princípio cosmológico é considerado correto por todos.

Que alívio!

De fato, é uma ótima notícia que, ao estar no espaço sideral, você decida imediatamente dar outra olhada em galáxias distantes, para descobrir por si mesmo de que elas são feitas. Elas são tão atraentes, com seus belos espectros

cheios de linhas correspondentes a hidrogênio, hélio e...

Agora espere.

Só um minuto.

Algo está errado...

Ao observar o espectro coletado, se dá conta de que as linhas ausentes da luz vinda de estrelas distantes estão ali todas certas, mas não estão *onde* deviam estar...

Enquanto os elétrons de alguns elementos químicos aqui na Terra são excitados pela luz azul, os mesmos elétrons dentro dos mesmos elementos químicos lá fora, em galáxias distantes, parecem gostar de cores um pouco mais esverdeadas para saltar de um orbital para outro...

E os átomos que são famintos por amarelo aqui na Terra parecem preferir luz alaranjada em todos os outros lugares.

E os átomos com ânsia de laranja aqui gostam de vermelho lá fora.

Por quê? Como isso é possível?

Todas as cores são trocadas no espaço sideral?

Ou cometemos um erro?

Você volta a observar diferentes fontes longínquas, mas não resta dúvida. Todas as cores são trocadas em direção à cor vermelha.

E fica ainda pior: quanto mais distante a fonte de luz, mais pronunciada a troca...

Droga. Estava tudo tão fácil.

Então, o que está acontecendo?

Afinal, as leis da natureza são diferentes em áreas distintas do universo? Se pudesse passear num planeta semelhante à Terra, um planeta orbitando uma estrela parecida com o Sol, a bilhões de anos-luz de distância, o céu, os oceanos e as safiras seriam verdes, as plantas e as esmeraldas seriam amarelas e as bananas seriam vermelhas?

Bem, não.

Se viajasse para lá, você veria o mundo alienígena como vemos aqui, um mundo em que as bananas são amarelas e o céu é azul. O motivo da troca de cor observada não é que as leis da natureza sejam diferentes longe de nós. O motivo é mais profundo. Até mudou tudo que a humanidade acreditou por mais de dois mil anos.

Já afinou um violão ou qualquer outro instrumento de corda? Percebeu que a nota emitida por uma corda puxada muda quando alguém ajusta sua cravelha?

Quanto mais alguém puxa a corda, mais agudo o som, certo?

Bem, o que você acabou de ver no céu corresponde ao mesmo fenômeno, exceto que o som é substituído pela luz, e a corda não é uma corda. No espaço, a luz não viaja, ou *se propaga*, por uma corda, mas sim através do tecido do universo. E, para explicar a troca de cor que acabou de detectar, esse tecido precisa estar envolvido.

Por quê?

Porque, para essa troca afetar todas as possíveis cores exatamente da mesma forma, a luz em si não deve ser responsabilizada, mas sim aquilo pelo qual ela viaja.

Puxe uma corda e a aperte por meio da cravelha; o som que ela emite é trocado para um “som mais agudo”, não porque algo aconteceu ao som, mas porque a corda foi esticada. E uma corda de violão é esticada exatamente da mesma maneira para todas as notas.

Agora imagine que possa esticar o tecido de nosso universo, como esticaria uma corda de violão. Puxe-o uma vez, e todos os comprimentos de onda de todas as luzes que se propagam se tornariam imediatamente “sons mais agudos”. Por quê? Porque a luz pode ser considerada uma onda, e o esticamento aumentaria a distância entre duas cristas consecutivas, isto é, o comprimento de onda. O azul se tornaria verde. O verde se tornaria amarelo, o amarelo, vermelho, e assim por diante.

Num espectro, significa que as cores reais do universo mudariam rumo à cor vermelha. Elas são *desviadas para o vermelho*.

Agora, em vez de esticar o tecido de nosso universo apenas uma vez, imagine que ele, de algum modo, foi esticado de maneira contínua e gradual. Quanto maior a distância percorrida pela luz, maior o desvio para o vermelho a que a luz ficaria sujeita antes de alcançar a Terra. Com esse cenário, começando muito longe, um raio azul se tornaria regularmente verde, e, depois, amarelo, e, depois, vermelho, e, depois, invisível aos nossos olhos: infravermelho e, depois, micro-onda... Então, saber quanto as cores emitidas por uma estrela distante diferem de suas cores iniciais quando alcançam a Terra permitiria que você dissesse quão distante está a estrela.

Mas isso é verdade? É assim que o tecido do universo se comporta?

É. Isso é exatamente o que você viu no céu.

Mas o que isso significa na prática?

Significa que a distância real entre galáxias distantes e nós está crescendo o tempo todo. Significa que o espaço estica, e, portanto, cresce, por conta

própria, no meio das galáxias. Significa que nosso universo muda com o tempo.

Inúmeras experiências confirmaram isso, e os cientistas têm aprendido a aceitar essa ideia. Nós vivemos num universo em transformação e em crescimento.

No entanto, Einstein não gostava disso. Há um século, ninguém gostava da ideia. Para nossos antepassados, fossem cientistas ou não, o universo sempre fora o mesmo. Mas eles estavam enganados a esse respeito.

Para ser claro, não são as galáxias que estão se afastando. É a distância que nos separa das galáxias já distantes que está aumentando. É o próprio vazio do espaço que está sendo esticado. Os cientistas deram um nome a esse fenômeno: *expansão do universo*. E, ao contrário do que alguém possa pensar, isso não significa que o universo está se expandindo em “algo”. Significa que ele se expande e cresce a partir de dentro.

Agora, antes de tirar conclusões precipitadas e se perguntar o que pode ter causado essa expansão, você talvez queira verificar tudo isso por si mesmo. Assim, imagine que seja rico de verdade (100 bilhões de libras esterlinas no banco, por exemplo), e que tenha 100 amigos. Curioso a respeito de nosso universo, dá a cada um deles 1 bilhão de dólares para comprar um poderoso telescópio moderno e viajar ao redor da Terra para coletar a luz da maior quantidade possível de galáxias distantes.

Alguns meses depois, convida todos os seus amigos para apresentarem as descobertas em sua mansão. Cerca de metade deles era de amigos de verdade e compareceu (você pode se considerar bastante afortunado), enquanto a outra metade preferiu ficar com o dinheiro. Mas não importa, pois todas as histórias são idênticas. Independentemente de para onde foram, quer China, Austrália, Europa, meio do Pacífico ou Antártida, todos aqueles que atenderam ao convite viram o mesmo fenômeno no céu: bem acima de suas cabeças, galáxias distantes tiveram uma estranha troca de cor. Todas estavam se afastando. E, quanto mais distantes essas galáxias ficavam, mais rápido elas estavam escapando. Todos testemunharam a expansão do universo.

O que devemos concluir a partir disso?

Ao pensar a esse respeito, a mesma sensação peculiar que você teve ao ler o final da Parte I fica em sua mente.

Primeiro, havia aquele estranho universo visível que era uma esfera centrada

em você, e agora isso...

Podia ser verdade?

Se tudo, por toda parte, afasta-se da Terra, significa que todas as mães da Terra têm razão de pensar que seus filhos são o centro do universo?

Por mais incrível que pareça, dá a impressão de que sim.

Que notícia adorável, que dia feliz.

Se alguns de seus amigos estiverem por perto enquanto lê isso, poderão abrir uma garrafa de champanhe. *Somos especiais, afinal. Sobre tudo você.*

Finalmente. Reconhecido. Copérnico estava enganado. Ele devia ter escutado a mãe. As mães sempre têm razão. Nós todos, na Terra, somos o centro do nosso universo.

Mas espere, espere, espere...

O que acha das mães em planetas longínquos, em outras galáxias? Se elas existem e pensam como nossas mães, estariam enganadas a respeito de seus filhos?

Ou essa é uma prova de que não existem mães em outros lugares? Com certeza, não.

Não obstante o que você viu, da mesma forma que Copérnico nos disse 400 anos atrás que *não* somos o centro do sistema solar, a maioria dos cientistas (se não todos) assume hoje em dia que nossa posição no universo não é mais significativa do que qualquer outra. De modo bastante estranho, isso não significa que não estamos no centro de nosso universo visível. Estamos. Mas qualquer outro lugar também está. Cada lugar está no centro do universo que é visível dali.

Essa convicção muito forte até levou os cientistas aos seguintes princípios cosmológicos adicionais:¹⁷ ao conjecturarem o que acontece lá fora, muito, muito longe de nosso planeta, os cientistas supõem que não há posição preferida em nenhum lugar – esse é o **segundo princípio cosmológico**; e que, se um observador selecionado viajasse por toda parte, todas as direções sempre pareceriam a mesma para ele, com galáxias distantes sempre se afastando de onde ele está, exatamente como se afastando de nós aqui na Terra – esse é o **terceiro princípio cosmológico**.

Se agora você dedicar um momento para pensar a respeito disso antes de seus amigos abrirem mão da champanhe, a regra cosmológica número três parece trivialmente incorreta.

Evidentemente, o mundo não parece o mesmo quando visto de onde você

está agora, lendo este livro, assim como de debaixo do chuveiro (supondo que não está lendo este livro enquanto toma banho). Assim, um esclarecimento é necessário: o terceiro princípio cosmológico não se preocupa com o que está perto de você. Preocupa-se somente com a visão geral, que fixa uma escala muito, muito maior que as galáxias. Afirmo que o universo, em escalas muito grandes, parece semelhante independentemente da direção examinada.

No entanto, isso parece incorreto, não? Você não viajou pelo universo na Parte I? Não viu lugares distantes que não pareceram o universo como visto da Terra? Até cruzou um pedaço do espaço com milhares de anos-luz de espessura onde nenhuma estrela brilhava, a assim chamada Idade das Trevas. Como o universo pode parecer o mesmo da Terra e de um lugar onde não existem estrelas?

Bem, agora é a hora de se dar conta do que eu realmente quis dizer quando afirmei que você não viajou, na Parte I, pelo universo como ele é, mas sim pelo universo *como é visto da Terra*. Não é exatamente a mesma coisa. Lembre-se: o universo que aparece à noite não corresponde àquilo que nosso universo é *agora*. Corresponde a uma fatia de sua história passada, uma história centrada na Terra, pois estamos na Terra. Recebemos fotos de paisagens todos os dias, de todos os lugares. De acordo com a regra cósmica número três, os alienígenas que vivem num mundo distante devem ver um universo exatamente semelhante ao nosso. Não nos detalhes, é claro, mas em grande escala. Eles também estariam cercados pela soma de todas as informações que os alcançam de seu passado; eles também veriam em seu céu noturno uma fatia da história de nosso universo comum. Eles teriam sua Idade das Trevas cósmica e sua superfície de última difusão. Eles teriam tudo isso, mesmo se sua fatia não cruzasse com a nossa.

No fim das contas, para entendermos nosso universo, para captarmos todo o quadro, devem ser adicionadas todas as histórias do passado, de todos os pontos do universo. Lugares próximos apresentam histórias que se sobrepõem muito, é claro, mas lugares separados por grandes distâncias espaciais podem não ter nada sobreposto de seus passados. No entanto, devem todos ser considerados equivalentes. Na prática, isso é o que a regra cósmica número três significa. Você tomará mais conhecimento a esse respeito posteriormente.

Por conseguinte, isso também significa que, embora você não ocupe uma posição especial nesse seu universo, ainda está – como sua mãe certamente pensava – no cento de *seu* universo visível.

E, se achou que sempre soube disso, deixe a alegria circular em seu corpo e

sua mente. É uma grande notícia.

Repito: você *está* no centro de seu universo.

Agora, o que pode parecer pior é que o seu vizinho está na mesma posição: ele está no centro do universo visível dele.

E também todas as outras pessoas.

Assim como todas as outras coisas.

Todos estamos, tudo está, no centro de nosso próprio universo; o universo que podemos investigar com a luz que nos alcança. Somente em algumas ocasiões muito especiais os universos visíveis de duas pessoas podem se casar perfeitamente. Deixarei para você descobrir quando e como isso pode acontecer.

Assim, dito isso, é hora de observar com um pouco mais de atenção essa expansão que estende o universo.

Isso realmente está acontecendo?

Sim. As distâncias entre galáxias distantes aumentam o tempo todo. No entanto, não se aplica a objetos próximos, pois a gravidade é mais forte localmente. As galáxias criam uma atração gravitacional que anula essa expansão, tanto dentro de seus limites (a distância entre o Sol e as estrelas próximas não está se expandindo), como ao redor (na realidade, as galáxias adjacentes estão ficando cada vez mais próximas o tempo todo). Em grandes distâncias, porém, a expansão é regra.

A descoberta da expansão do universo foi feita por Edwin Hubble, astrônomo norte-americano, em 1929, e a lei que associa a maneira pela qual as galáxias se distanciam de nós é denominada *lei de Hubble*. Baseando-se nessa descoberta, Hubble pode, com razão, ser considerado um dos pais da moderna cosmologia observacional. Ele também é a pessoa que, com Ernst Öpik, provou que a Via Láctea não é todo o universo, que outras galáxias existem além dela. Duas descobertas que seguramente seriam merecedoras de um Prêmio Nobel, se tivessem sido feitas hoje. Na época, porém, a observação das estrelas e a tentativa de compreendê-las não eram consideradas parte da física, tanto pela comunidade da física, como pelo comitê do prêmio. Em consequência, Hubble nunca recebeu um Prêmio Nobel. No entanto, a regra mudou após sua morte, e muitos prêmios foram concedidos a cosmólogos observacionais. Você deve tomar conhecimento de alguns neste livro.

Agora, preste atenção para entender a extraordinária consequência da lei de expansão de

Hubble, você provavelmente ficará surpreso a respeito de quão brilhantes os cientistas podem ser às vezes. Com muito raciocínio e cerca de dose dupla de cafeína, eles descobriram que, se tudo que está distante em nosso universo está se afastando de nós agora, então tudo que agora está distante deve ter estado mais perto no passado.

Uau!

Foi um avanço revolucionário.

Você pode tentar o raciocínio disso de novo por sua própria conta algum dia; é bastante gratificante.

Na realidade, embora possa não parecer algo fora do comum, foi uma revelação real.

Como já mencionei, o próprio Einstein se recusou a acreditar.

Por quê?

Por que importa se galáxias distantes estão se afastando, ou, quanto a isso, estavam mais próximas no passado?

Lembre-se: a lei baseada na observação de Hubble afirma que a distância em si entre as galáxias é que está se expandindo, e não simplesmente que as galáxias estão se afastando umas das outras. Em outras palavras, é o tecido do universo que está em expansão.

Persistindo nessa ideia, deve ser o caso de o universo em sua totalidade ter sido menor no passado.

Mas como isso podia acontecer?

E alguém pode provar isso?

Sim. Voltando a olhar para longe. O passado situa-se ali para que recebamos suas mensagens. E o muro que vimos no fim do universo visível confirma tudo isso de maneira brilhante (embora seja escuro), e você verá por que daqui a dois capítulos. Primeiro, porém, terá de voltar a viajar pelo espaço sideral, para ficar um pouco mais familiarizado com a gravidade.

¹⁵ Os metais emitem elétrons *somente* quando são iluminados com a luz “correta”. Isso é denominado *efeito fotoelétrico*. A explicação envolve o que acabei de descrever (os elétrons só podem se mover de um orbital para outro saltando – para cima ou para baixo – níveis de energia) e o fato de que a luz pode ser descrita como pequenos pacotes de energia, como uma partícula. Há muito mais a respeito desse aspecto da luz posteriormente neste livro. E, aproveitando o assunto, deixe-me acrescentar que Einstein provavelmente teria merecido ao menos dois outros Prêmios Nobel, mas só ganhou esse.

¹⁶ Para ser exato, esse é um espectro de *absorção*. Um espectro que mostra que luz um material emite, em vez de um que absorve (como é o caso de nosso átomo aqui), é denominado espectro de *emissão*.

¹⁷ Lembre-se, o primeiro princípio cosmológico foi que as leis da natureza – independentemente do que

possam ser – são as mesmas em todos os lugares.

Capítulo 6

Sentindo a gravidade e suas ondas

Das quatro forças fundamentais que governam nosso universo, a gravidade é talvez aquela sobre a qual estamos mais conscientes.¹⁸ Toda vez que você cai, toda vez que usa os músculos das pernas para ficar de pé, toda vez que levanta alguma coisa, seu corpo é lembrado da existência da gravidade.

Tudo é afetado pela gravidade.

No entanto, tudo também *cria* gravidade. Incluindo você, incluindo aqueles vasos de cristal que sua tia-avó de Sydney continua lhe dando no Natal.

Por falar nisso, imagine que tinha um dos vasos dela com você na ilha.

Olhe para ele.

Agora o deixe cair numa superfície dura.

Ele cai e se reduz a estilhaços.

Você pode imaginar toda a sua coleção caindo numa superfície dura, em diversos lugares da Terra.

Surpreendentemente, eles sempre cairão. E quebrarão. Onde quer que você esteja.

Ótimo.

Não só tal experimento o livrará de seus vasos, mas também demonstrará um ponto: desde que seja mais denso que o ar, qualquer objeto que se deixou cair sobre a Terra sofrerá uma queda, exatamente como Newton (e qualquer pessoa lúcida) pensou desde então.

E quanto a um objeto mais leve¹⁹ que o ar, então? Por que os balões de hélio se elevam no céu, em vez de cair? Eles não sentem a gravidade da Terra?

Sentem. Mas há competição.

Sempre que os objetos são arrastados para baixo pela Terra, os mais densos tendem a descer mais fundo. Se os objetos mais leves que o ar parecem voar, é porque o ar de cima é menos denso e ocupa seu lugar. Se o ar fosse visível,

você veria isso. Mas não é visível e você só enxerga o resultado: objetos mais leves que o ar são impelidos para cima pelo ar invisível que avança sob eles. A gravidade sempre é atrativa. Sempre faz as coisas caírem. Mas a competição cria camadas, e alguns objetos precisam se mover para cima, a fim de dar espaço aos mais densos.

Com isso em mente, pode pensar a respeito da Terra como uma bola imensa, com muita matéria aderindo à sua superfície por causa da curva acentuada que ela cria em torno de si dentro do tecido de nosso universo. Todos os objetos que já viu escorregam por esse declive (você escorrega por esse declive), até um chão ou outra coisa mais densa impedir que os objetos, você e todos escorreguem ainda mais. Na crosta terrestre, as rochas são mais densas que a água. Eis por que o oceano fica sobre a rocha dura. As rochas e a água são mais densas que o ar. Eis por que a atmosfera fica sobre a superfície de nosso planeta, seja rochosa ou líquida.

Nós, seres humanos, vivemos embaixo de cerca de 100 quilômetros de ar que aderem à superfície de nosso planeta. Nós somos mais densos que o ar. Não voamos. Mas somos mais leves que o chão. Assim, ficamos sobre ele. Às vezes, alguns objetos ou animais conseguem se afastar do solo, elevando-se ao céu, mas para eles fazerem isso é necessário energia e, em geral, não leva muito tempo para eles voltarem, a menos que, é claro, sejam mais leves que o ar, o que é sem precedentes (e seria um grande azar) para qualquer animal.

Agora, como tudo se arrumaria se não existisse a Terra?

*

É domingo de manhã em sua ilha tropical. Todas as manhãs, desde sua estranha viagem mental, seus amigos trazem o café da manhã para você, e eles, claramente, ficam cada vez mais curiosos a respeito de sua história. Alguns deles até se perguntam se você realmente viu o que continua dizendo que viu. Outros têm se esforçado para conseguir dormir à noite, preocupando-se com a morte do Sol. Infelizmente, estes procuraram ativamente maneiras de impedi-lo de falar disso o tempo todo. E parece que eles acharam uma maneira.

Você abre os olhos.

Partículas de poeira flutuam e dançam nos raios de sol matinais, embora elas também sintam a gravidade, você pensa, quando alguém bate em sua porta.

“Entre”, você diz, sentado na cama, esperando uma amiga sorridente e talvez uma bandeja com frutas e café.

A porta se abre. E ali está ela: sua tia-avó de Sydney.

Ao lado dela, há três sacos, todos cheios com vasos de cristal. Você não acha possível, mas são ainda mais feios do que aqueles que quis quebrar para sua experiência relativa à gravidade.

Ela entra, nem um pouco perturbada de encontrá-lo na cama. Aproxima-se, acaricia de leve seu rosto e lhe entrega um dos vasos, sorrindo em silêncio, com uma expressão de compreensão, sabendo que as palavras não podem transmitir fielmente sua alegria com a visita-surpresa dela.

Com o vaso nas mãos, você fecha os olhos para manter a calma, de repente desejando desesperadamente estar em outro lugar.

E, quando abre os olhos de novo, está. Em outro lugar bem diferente: no espaço sideral.

A casa de praia, os raios de sol, sua cama, sua tia-avó sumiram.

Está de volta às estrelas, como na Parte I, mas tudo parece muito mais seguro do que daquela vez.

Você não pode deixar de dar um grande sorriso enquanto olha ao redor.

Nenhum sinal de uma explosão imediata.

Nenhuma Terra fundida.

Todas as estrelas estão distantes, tudo está calmo.

Você está flutuando no meio de uma escuridão aparentemente infinita, salpicada com luzes minúsculas.

Quando, na primeira parte deste livro, você se viu no espaço, era apenas uma mente. Com exceção do momento em que foi expelido por um buraco negro, não sentiu nada. Dessa vez, porém, está prestes a experimentar algo diferente. Você ainda está numa espécie de viagem mental, mas não deixou seu corpo para trás. Está aqui, envolto pela proteção de um tecido de traje espacial, experimentando a ausência de peso.

Tudo parece tão real que, de fato, se sente meio enjoado, mas, em pouco tempo, se restabelece. Com o tempo, percebe que, embora sua tia-avó não esteja mais por perto, você ainda está segurando o vaso que ela acabou de lhe dar.

Volta a olhar ao redor com um sorriso, mas não há nada contra o qual arremessar o vaso. Nem Terra, nem estrela.

Dando uma de durão, decide fazer outra experiência relativa à gravidade.

Estende o braço e abre a mão, soltando o vaso, mas, até onde pode dizer, ele permanece exatamente no mesmo lugar. Um minuto se passa. Dois. E então, após mais um minuto, tudo permanece igual.

Ou quem sabe o vaso se moveu um pouco em sua direção. Mas não muito.

Nada que mereça um informe.

No fim, cansado de encarar aquela monstruosidade de vaso, o empurra com a ponta do dedo e o observa se afastar lentamente no que parece uma linha reta. Já vai tarde!

Se não tivesse sido empurrado, o vaso teria permanecido bem perto de você. Não teria caído. Ele poderia ter caído na direção do quê? Sem nenhum planeta ou estrela por perto, não há noção de para cima e para baixo, ou direita e esquerda. No meio do nada, todas as direções são equivalentes. Não há nenhum tipo de chão para o vaso se dirigir, a menos que, é claro, você considere a si mesmo um chão. Mas isso seria insultá-lo, não? Bem... Você não deve levar nada para o lado pessoal quando a natureza está envolvida, pois, após um bom tempo, para seu grande desalento, vê o vaso voltando para si. A gravidade está em ação. A gravidade que *você* cria.

No entanto, uma pergunta estranha ocorre à sua mente: é o vaso que está se movendo em sua direção ou você está se movendo na direção dele? Até onde sabe, pode ser também que o vaso seja o chão e você está caindo na direção dele. Infelizmente, você não tem tempo de aprofundar essa ideia, pois um asteroide passa voando bem perto, apanhando você e o vaso com seus dedos gravitacionais invisíveis.

Se lhe perguntassem, você provavelmente teria respondido que, sendo mais pesado, seria o primeiro a atingir o chão do asteroide. Mas não. Não é o que acontece. Você e seu vaso alcançam a superfície poeirenta rochosa ao mesmo tempo e, quando seus pés tocam o chão macio, você imediatamente agarra aquela obra de arte fracassada, para arrebatá-la contra a superfície do asteroide.

Infelizmente, o chão do asteroide não é tão sólido quanto o da Terra, e o vaso não quebra. Em vez disso, agora, uma grande nuvem de poeira cósmica o cerca... Irritado, você levanta o vaso e o atira para o espaço com toda a força, para se livrar dele de uma vez por todas. Dessa vez, não há jeito de ele voltar, conclui, e se sente aliviado quando o vaso desaparece na distância, através da nuvem de poeira, condenado a girar sobre si mesmo para sempre.

A sós, afinal!

Agora, pode relaxar, aproveitar a visão nunca antes apreciada e descobrir como experimentar a gravidade de modo mais profundo do que alguém já experimentou antes.

Enquanto reflete a respeito disso, ocorre-lhe que a rocha na qual você se situa

não está mais se movendo em linha reta. A trajetória dela acabou de mudar, tomando a direção de um mundo escuro e gélido, um planeta sem estrela, que vagueia no meio de lugar nenhum, numa busca provavelmente inútil para encontrar um novo lar luminoso. Havia perigo por perto, afinal. Você simplesmente não o percebera.

Por um instante, enquanto a rocha acelera rumo ao planeta, enquanto sente seu estômago embrulhar, você tem quase certeza de que está numa rota de colisão perfeita, no caminho de se despedaçar contra a superfície de um mundo frio e morto. Ouviu dizer que, ao encararem a morte iminente, as pessoas geralmente têm acesso a lembranças esquecidas ou veem a vida se desdobrar diante delas. No entanto, nada disso acontece com você, que só consegue pensar em sua tia-avó, culpando a ela e ao vaso dela pela morte certa que espera esse seu corpo.

Num heroico esforço para salvar sua vida, você toma impulso e salta do asteroide e se afasta do planeta nadando. Pouco depois disso, se dá conta de duas coisas: primeiro, ao contrário do que achava, você não está numa rota de colisão, e, segundo, embora saltar de um asteroide seja certamente possível, é impossível nadar no espaço.

Como se num passeio de montanha-russa interestelar, você acelera cada vez mais enquanto escorrega pelo declive que o planeta cria no tecido do universo. Como esperado, acaba não acertando a superfície dele por diferença de alguns milhares de quilômetros e, durante certo tempo, gira em torno do chão escuro e frio do planeta, até se ver rapidamente arremessado na direção do espaço com seu asteroide, como catapultado, numa velocidade muito maior do que antes da queda. Efetivamente, você e seu asteroide roubam alguma energia desse mundo, alguma energia cinética, à semelhança de bola de golfe, num campo de minigolfe, que, não acertando um buraco móvel, gira ao redor de sua beira, até ser ejetada e rolar *mais rápido* e, de modo desanimador, para *mais longe* de onde você a bateu com seu taco. Um buraco imóvel não consegue fazer isso nem um mundo fixo. Mas um buraco móvel é capaz, assim como um planeta móvel.

Alguns minutos depois, enquanto o planeta morto desaparece ao se afastar, você aterrissa de volta na superfície de seu asteroide. Por mais estranho que pareça, percebe que ele nunca parara de atraí-lo, e, mais estranho ainda repara que vocês dois seguiram uma trajetória muito semelhante ao redor do mundo perdido que agora partiu.

Um vaso pesando a quadragésima parte de seu peso caindo como você na

direção de um asteroide pode ser surpreendente, mas um asteroide, uma rocha do tamanho de uma pequena montanha, caindo como você na direção de um planeta é problemático. No entanto, é o que aconteceu. Os objetos, ao que parece, caem exatamente do mesmo jeito na direção dos planetas, ou na direção uns dos outros, independentemente de suas massas. Por mais curioso que possa parecer, mesmo o Sol e uma pena cairiam exatamente da mesma maneira na direção de um asteroide, de um planeta ou de qualquer coisa. Isso acontece porque estar sujeito à gravidade significa escorregar pelos declives que a matéria e a energia criam no tecido de nosso universo.

Compreensivelmente, você se senta na rocha para deixar seu pensamento se fixar em algo significativo.

E contempla o espaço sideral.

Nenhuma ideia significativa vem à mente.

Você continua tentando e, com a tenacidade enfim compensando, uma imagem de beleza extraordinária surge de repente em sua mente.

Começa a ver curvas, declives e morros por toda parte, em rochas, planetas distantes, estrelas e galáxias. Raios de luz originários de fontes brilhantes longínquas parecem escorregar por esses declives, deixando linhas fluorescentes efêmeras em seus caminhos, para você descrevê-las, para ver a forma real da tela do universo. Percebe que, exatamente como matéria, exatamente como você, luz no espaço não viaja ao longo de linhas retas, como talvez tivesse pensado. Perto de uma galáxia, de uma estrela, de um planeta ou até de uma pequena rocha, a luz fica defletida. Quanto mais denso um objeto e quanto mais perto um raio jorra nele, mais acentuada é a deflexão. Como os planetas, as estrelas e as galáxias se movem, o mesmo também ocorre em relação às curvas e aos declives que os mesmos criam, seguindo-os enquanto eles dançam ao redor uns dos outros e se fundem. Tudo se move, por toda parte, nesse nosso universo. Mesmo seu tecido.

Parece-lhe que esse tecido, cuja forma está vendo, esse tecido que estava invisível para você até agora, dá a impressão de estar quase vivo.

Observando tudo isso sentado no asteroide, você está deslizando para baixo, numa linha curva, da mesma forma que está nesse exato momento enquanto lê este livro. No asteroide, é a rocha que cria isso. Durante a leitura deste livro, é a Terra. No asteroide, a linha curva é suave, e não requer muita energia para você escapar voando dela. Na Terra, a curva é mais acentuada.

Se não tem a impressão de que está caindo enquanto lê este livro, é porque há um chão sob seus pés, ou uma cadeira na qual está sentado, que o impede de

fazer isso. No entanto, você provavelmente sente que seus ombros (todo o seu corpo, na realidade) tendem a ser puxados para baixo. O tempo todo. Porém, se estiver lendo este livro durante a queda livre de um avião, realmente está caindo pela linha curva criada pela Terra, embora a presença de ar diminua a velocidade. Essa queda pelo declive no tecido do universo é o movimento mais natural de todos, para e ao redor de todos os objetos por toda parte do universo.

Ao empurrar seu vaso para longe, ele escalou lentamente a inclinação invisível que sua presença criou e, em seguida, caiu por essa mesma inclinação, exatamente como um objeto lançado para o alto da superfície terrestre perde velocidade à medida que se move para cima e, em seguida, ganha velocidade quando cai.

Para atingir o espaço a partir da superfície terrestre, um objeto deve ser lançado verticalmente a uma velocidade superior a 40.320 quilômetros por hora. Se for lançado a uma velocidade menor, ele cairá.²⁰ Sempre.

Para escapar de sua atração gravitacional (não deve ser confundida com sua atratividade), uma velocidade mínima também é necessária, da mesma forma que uma velocidade inicial mínima será necessária se quisermos rolar para cima uma bola de gude, numa saliência do terreno.

Você não empurrou seu vaso rápido o bastante e, assim, ele voltou na sua direção, pois você também encurva o tecido do universo.

E depois, quando zuniu ao redor do planeta e escapou girando do outro lado por meio de um pequeno chute extra obtido a partir do próprio movimento do planeta, você, involuntariamente, utilizou uma técnica que os cientistas de foguetes espaciais usam a fim de enviar satélites para longe do sistema solar sem a necessidade de combustível: ao fazer os satélites voarem perto dos planetas, no ângulo e na distância corretos, eles conseguem catapultá-los para regiões mais distantes de nossa vizinhança cósmica com maior velocidade.

Enquanto esses pensamentos ocupam sua mente, você agora entende que, mesmo na Terra, tudo está realmente caindo o tempo todo no declive criado pela matéria da qual nosso planeta é feito. Eis como e por que nosso planeta se estende em camadas, do topo do céu ao centro mais profundo, com as partículas menos densas acima e as mais densas enterradas bem no fundo. Foram necessários bilhões de anos para esse equilíbrio ser alcançado.

Agora, quer tenha consciência disso ou não, você se livra completamente da ideia da gravidade ser uma força. Em vez disso, agora a vê como uma paisagem de curvas, colinas e inclinações, e parece que apenas viajou ao espaço para aprender essa lição, pois, assim que pensa nisso, subitamente se vê

de volta na sua casa de praia, deitado em sua cama, encarando sua tia-avó, que parece bastante confusa.

“Eu não acabei de dar um vaso para você?”, pergunta ela, não vendo nada em suas mãos.

“Que vaso?”

“Deixa pra lá, querido, deixa pra lá.”

“Mas... o que a senhora está fazendo aqui?”, pergunta você.

“Seus amigos me ligaram. Você estava tendo alucinações, eles disseram. A respeito da gravidade. Quando tiver minha idade, descobrirá que a força dela é um estorvo de verdade. Mas você é jovem e não deveria se preocupar tanto com isso. Agora, olhe para esses vasos que eu trouxe para você. Não são encantadores?”

“Não existe essa coisa de força gravitacional. Existem apenas declives”, você diz para ela de modo taciturno, amaldiçoando silenciosamente seus amigos traiçoeiros.

“Declives, sim, sei”, responde ela, inesperadamente, desembrulhando todos os vasos.

E, para sua imensa surpresa, ela até contrapõe que, falando de modo gravitacional, “força”, “declive” ou seja o que for nunca fizeram qualquer diferença para ela. Em geral, uma pessoa não grita “Ajude-me! Estou caindo!”, em vez de “Ajude-me! Estou sendo puxado para baixo!”. Que besteira sua armar tanto a respeito disso.

E então ela começa a redecorar sua casa de praia, até agora de bom gosto, com os doze vasos que ela trouxe, e você olha para ela, refletindo silenciosamente a respeito do que é a vida.

Naquela noite, quando finalmente consegue achar algum tempo para ficar sozinho, escapa da relativa civilização de sua casa de praia para dar uma volta na orla e observar as estrelas. O comentário de sua tia-avó a respeito da gravidade o incomoda, e você tenta resumir o que acabou de aprender.

Há declives no próprio tecido do universo.

Tudo cria um declive em todas as direções, um declive invisível que chamamos de gravidade, e, quanto mais denso o objeto que o cria, mais íngreme é o declive. No entanto, se todos os objetos massivos curvam o tecido de nosso universo, então certamente a luz também curva, você pensa, pois energia é massa, e massa é energia, de acordo com $E = mc^2$.

Mas isso é realmente verdade?

De fato, tudo curva esse tecido, inclusive a luz? Esse tecido é feito de quê?

Ali em sua casa de praia, ou em qualquer lugar em que já esteve, você já o sentiu? Já sentiu o declive invisível criado por uma parede? Por um sofá? Por um teto? Ou pelo céu? Ou pela luz proveniente de uma lâmpada? Não, não sentiu. Só sentiu aquele criado por nosso planeta como um todo, aquele que seus músculos e ossos combatem, a fim de se levantar da cama de manhã. Se você fosse feito de água, esguicharia e se espalharia sobre o chão, e não sobre a parede.

Na realidade, qualquer gravidade que esteja sentindo neste momento é a soma de *todos* os declives criados por tudo que o cerca, incluindo as paredes e o teto, e até mesmo um pássaro ou um avião que pode voar acima de sua cabeça.

No entanto, tudo que está abaixo de você nesse momento é muito mais significativo que qualquer coisa que está acima. A Terra sob seus pés contém mais matéria e energia armazenada que o céu acima de você. Assim, cria o declive mais íngreme. Por isso, você está propenso a deslizar para baixo por aquele primeiro, e o sente com mais intensidade. É a gravidade da Terra.

E quanto ao tecido do universo? O que *é* esse tecido? *O que* é curvado?

Bem, isso é realmente aquilo que Einstein equacionou.

Com $E = mc^2$, ele demonstrou que a distinção entre massa e energia é supérflua, que massa e energia são apenas dois aspectos da mesma coisa. Isso foi em 1905. Em 1915, demonstrou que a forma do universo, em qualquer lugar, é determinada pela massa e a energia presentes. De passagem, Einstein se livrou da ideia da gravidade ser uma força. Gravidade é meramente geometria: curvas e declives, criados por matéria e energia. Mas geometria de quê? Não existe essa coisa de um tecido de borracha cósmico ensabado e esticado, sobre o qual tudo se move, isso é claro, mas tenhamos em mente o seguinte: só porque não vemos algo, não significa que não existe. Antes de as pessoas entenderem que o ar invisível ao redor era composto de átomos e moléculas, todos pensavam que estava vazio.

Nesse caso, temos o mesmo tipo de lacuna conceitual a preencher: o espaço sideral, apesar de parecer vazio, não está vazio. Nem está parado.

O que o torna um objeto geométrico móvel e variável é exatamente o que até agora denominei “o tecido do universo”.

Einstein descobriu que esse tecido é uma mistura de espaço e tempo, duas entidades que, como aprendemos a aceitar no século passado, não podem ser separadas.

Atualmente, o tecido do universo é, portanto, melhor conhecido sob o nome de espaço-tempo, e a teoria da relatividade geral de Einstein nos revela como esse espaço-tempo é curvado por aquilo que contém, e vice-versa. Energia e matéria, por um lado, e a geometria do espaço-tempo, por outro, são conceitos idênticos no que diz respeito à gravidade.

Até agora, porém, você só experimentou a curvatura do espaço. Não a do tempo. Ou assim acha. De fato, a curvatura do tempo estava sempre acontecendo. Até acontece ao seu redor nesse momento, enquanto lê. Seus efeitos são muito fracos para serem percebidos por seus sentidos, mas você, em breve, vai se ver em lugares onde a curvatura do tempo será evidente, e muito desconcertante. Isso acontecerá num avião, na Parte III, e quando você finalmente mergulhar num buraco negro, na Parte VI.

Por enquanto, porém, você está de volta à sua praia e observando as estrelas. É tarde, mas não importa. Você contempla o céu e, sem dúvida, acha que está flutuando no meio de ideias maravilhosas, que parecem completamente estapafúrdias, mas que, por algum motivo um tanto milagroso, parecem muito boas na descrição de nossa realidade cósmica.

Graças à curvatura do espaço-tempo de nosso planeta, tudo o que está bastante próximo da Terra cai em direção à sua superfície e contribui para a curvatura. Graças a isso, ao longo dos bilhões de anos desde o nascimento da Terra como resultado de uma nuvem de poeira estelar, um equilíbrio foi alcançado onde nosso planeta ficou cercado por uma atmosfera, aquela que agora nos protege do espaço sideral, nos permite viver em virtude do ar respirável e nos dá a oportunidade de, às vezes, fitar o céu.

Além dessa atmosfera, longe da Terra, está a nossa Lua, que gira ao redor de nosso planeta como uma bola de gude gira numa tigela de salada, com a seguinte diferença: a Lua em si também cria uma curvatura no espaço-tempo. A própria curvatura do espaço-tempo da Lua faz a água daqui, situada na superfície da Terra, cair em direção à Lua. Eis por que a água segue a Lua enquanto ela orbita nosso mundo, criando as marés.²¹

Ainda mais longe, está o Sol, com a curva acentuada de sua inclinação do espaço-tempo, abaixo da qual todos os planetas, cometas e asteroides do sistema solar estão girando e zunindo em diferentes velocidades e alturas, como bolas de gude sobre a parede daquela tigela de salada.

E então há a competição como nossas estrelas vizinhas.

A alguma distância, as curvaturas do espaço-tempo de outras estrelas tornam-se mais acentuadas que a curvatura do Sol, e aqueles cometas

longínquos, que estão perto do limite, podem ocasionalmente alcançar o topo e se mover do domínio de uma estrela para o de outra, da mesma forma que a bola de gude arremessada do topo de uma tigela de salada talvez caía dentro de outra, se houver alguma por perto. No espaço, sempre há uma por perto.

E, na Via Láctea, todas as curvaturas do espaço-tempo de todas as estrelas contribuem para criar a curvatura de nossa galáxia, o campo gravitacional de nossa galáxia, que compete com os das galáxias vizinhas, e, então, o próprio Grupo Local compete com a curvatura agregada dos outros grupos, e assim por diante. E Einstein descobriu uma maneira de entender tudo isso por meio de uma única fórmula.

Parabéns, Einstein!

Sua equação o levou inclusive a prever que ondas estranhas deveriam preencher essa imensidão.

A primeira vez que você tomou conhecimento sobre a gravidade como uma curvatura foi há alguns capítulos, quando eu disse que os planetas e as estrelas eram muito parecidos com bolas pesadas curvando um lençol de borracha esticado. No entanto, agora sabemos que o tecido de nosso universo (a mistura de espaço e tempo que denominamos espaço-tempo) não é um lençol nem é plano. Ele está em todos os lugares. Assim, um planeta ou uma estrela, no espaço sideral, é mais bem representado não por uma bola situada sobre uma superfície plana, e sim imersa num oceano que preenche o universo inteiro. Nenhuma superfície acima, nenhum chão abaixo. Apenas água, em todos os lugares.

Se essa bola imersa pudesse distorcer o líquido à sua volta, em todas as direções, arrastando a água para si, isso corresponderia ao modo como a gravidade funciona. Um peixe, nadando tranquilamente, seria puxado, junto com a água, em direção à bola. Por conseguinte, perto da bola, o peixe não nadaria em linha reta. Seria defletido. Com a velocidade correta, poderia até parar de nadar e se colocar, preguiçosamente, em órbita ao redor da bola. Isso é o que acontece no espaço: uma planeta não precisa mover barbatana alguma para orbitar sua estrela. De fato, a Terra se move em linha reta, num espaço-tempo curvado pelo Sol. Nosso planeta não dirige, tampouco gasta energia, para fazer isso. Apenas segue as curvas invisíveis do espaço-tempo criadas pela nossa estrela, feito uma bola de gude numa tigela de salada.

Levando a analogia um passo adiante, pode se perguntar o que aconteceria se não uma, mas sim duas bolas estivessem imersas no oceano, e orbitando uma ao redor da outra.

Sem dúvida, as duas criaram algumas ondas.

Não ondas na superfície, e sim no interior do próprio oceano. Então, essas ondas se propagariam para fora, para além das bolas giratórias, fazendo-as perder energia, até colidirem.

Então, essas ondas corresponderiam a exatamente o quê em nosso universo? A uma oscilação de seu tecido. Seriam ondas do espaço-tempo, e isso é o que denominamos *ondas gravitacionais*. Sua existência foi prevista por Einstein em 1916, apenas alguns meses depois da publicação de sua teoria da gravidade. Porém, ninguém se dispôs a escutá-lo. Durante décadas. No fim das contas, ele parou de pensar a respeito delas, acreditando que podiam ser um produto artificial de seus cálculos, e não real, até que Yvonne Choquet-Bruhat, física e matemática francesa, disse-lhe, em 1951, que ele tinha razão... Ela provara matematicamente que, se a teoria da relatividade geral estava correta, então as ondas gravitacionais tinham que existir. A corrida para detectá-las estava começando.

Há 1,3 bilhão de anos, numa galáxia a 1,3 bilhão de anos-luz de distância, dois buracos negros, pesando 29 e 36 vezes a massa do Sol,²² moveram-se em forma de espiral na direção um do outro e se fundiram, numa velocidade correspondente à metade da velocidade da luz. Nos cerca de vinte milésimos de segundo de duração do choque, ambos perderam o equivalente a três massas solares de energia. Uma quantidade colossal. Cerca de cinquenta vezes o poder de todas as estrelas somadas do universo visível. De acordo com a teoria da relatividade geral de Einstein e de sua fórmula, $E = mc^2$, essa energia não se converteu em luz, mas sim em ondas gravitacionais, que nada poderia deter, destinadas a alcançar a Terra 1,3 bilhão de anos depois.

E elas alcançaram. Às 9:50:45, no padrão UTC, em 14 de setembro de 2015.

Ninguém teria visto as ondas gravitacionais se não fosse a sagacidade extraordinária do físico alemão Rainer Weiss e de Ronald Drever e Kip Thorne, físicos norte-americanos, que passaram décadas de sua vida pensando e construindo os LIGO (Observatórios de Ondas Gravitacionais por Interferômetro Laser), situados nos Estados Unidos, que as detectou. Sob o comando desses três físicos, mais de mil cientistas do mundo inteiro participaram da busca. Sem dúvida um Prêmio Nobel vai coroar tal feito nos próximos anos.

Portanto, sim, Einstein também tinha razão quanto a isso. Que homem! Você quase deseja que ele possa aparecer agora na sua frente, para apertar a mão dele.

No entanto, ainda há mais coisas em sua teoria da relatividade geral.

Anteriormente, você não leu que Einstein abriu as portas para a ideia de que nosso universo possa ter uma história? De que nosso universo era menor no passado?

Você se senta na areia da praia e fecha os olhos, concentrado, pronto para imaginar o que isso pode significar exatamente.

18 Você tomará conhecimento das outras três forças muito em breve, começando na Parte III.

19 Neste capítulo, “mais leve” deve ser entendido como “menos denso”.

20 As balas disparadas de qualquer rifle são muito mais lentas que isso. Assim, sempre retrocedem, mesmo se atirar para o alto. Ou seja, não tente fazer isso. Essa velocidade de 40.320 quilômetros por hora é denominada *velocidade de escape* da Terra. Como comparação, a velocidade de escape do Sol é de cerca de 2,2 milhões de quilômetros por hora, enquanto o cometa em forma de pato de borracha sobre o qual a sonda espacial Philae, da Agência Espacial Europeia, pousou em 2014, tem uma velocidade de escape de apenas 5,4 quilômetros por hora. Um pequeno salto seria suficiente para escapar.

21 A Lua também atrai todo o restante, é claro, incluindo a crosta sólida de nosso planeta, nós mesmos, as xícaras de chá e as colheres, mas esses são sólidos (e/ou menores); assim, isso se mostra com menos intensidade.

22 No caso de querer saber, isso os deixa com raios de 88,5 e 109,4 quilômetros, respectivamente.

Capítulo 7

Cosmologia

Há algumas perguntas na vida para as quais uma resposta única e incontestável pode ser dada. Infelizmente, apesar do que acabou de ver, o nosso universo parecer como um todo não é uma delas. As equações de Einstein levam em conta inúmeras formas globais para nosso universo e, como verá na Parte VI, nem mesmo sabemos realmente de o que nosso universo é feito.

No entanto, pode ser digno de nota nos lembrarmos de que a física, por mais poderosa que tenha sido até agora, jamais correspondeu *exatamente* à realidade. A disciplina até sabe que não pode visar a esse objetivo, pois significaria que a realidade – seja lá o que for – também poderia ser *exatamente* conhecida. O que não é verdade. As observações e as experiências, independentemente da precisão, sempre dão respostas aproximadas: sempre há uma margem de erro, por menor que seja.

Em retrospecto, até sabemos que, ao longo da história humana, a tecnologia com a qual nós, seres humanos, investigamos a natureza só raramente esteve em sincronia com o que a física foi capaz de prever na ocasião, às vezes levando a convicções equivocadas. Se, há algumas centenas de anos, algum antepassado seu tivesse conseguido supor a existência de uma bactéria cujo tamanho fosse a milésima parte da largura de um fio de cabelo, nenhum de seus contemporâneos teria sido capaz de verificar isso, e, provavelmente, ele teria acabado num asilo para pessoas excessivamente assustadas. O mesmo acontece em relação a galáxias distantes. Se seu antepassado também insistisse na existência delas, ele não teria sido trancado em lugar seguro, e sim queimado vivo. Como Giordano Bruno. A tecnologia necessária para ver o cosmos em longas distâncias, para retratá-lo, só surgiu há menos de um século. Da mesma forma, a tecnologia para verificar o que você vai ver no fim deste livro ainda não foi desenvolvida.

A ciência avança passo a passo, e, ocasionalmente, por passos imensos, abrindo caminho para revoluções no conhecimento. No entanto, pode ser saudável considerar a ciência como um suporte para os pensamentos, um suporte que tenta, geração após geração, estar o mais perto possível da realidade em que vivemos, uma realidade cujos mistérios são então desvendados por meio das experiências. E pode valer a pena mencionar que, ainda que isso possa mudar no futuro, até agora nenhuma atividade humana, com exceção da ciência, levou a descobertas a respeito da natureza que não estavam ali para serem vistas originalmente. Por mais humilde que tenhamos de ser diante da grandiosidade da natureza, a ciência, e só a ciência, nos deu olhos para ver onde nossos corpos são cegos.

Ao contrário do que a maioria das pessoas acredita, os cientistas não gostam de complexidade. Para tentar entender o universo como um todo, eles preferem que tudo seja simples. E o jogo, em geral, é descobrir um padrão simples dentro de um ambiente aparentemente intrincado.

É onde um pouco de sagacidade entra em cena.

Assim, vejamos o que podemos apreender da visão de Einstein, simplificando, na maior escala possível, tudo o que vimos até aqui. Vamos esquecer os detalhes. Tenhamos uma perspectiva bem abrangente. Sem asteroides, sem planetas, sem estrelas, sem ondas gravitacionais. Eles são muito pequenos para ser importantes em relação àquilo que importa aqui. Deixemos ficar apenas galáxias e aglomerados de galáxias. E você está ali, capaz de ver tudo isso, como um olho perspicaz em relação à essa proporção cósmica, em que a Terra, o Sol e centenas de bilhões de estrelas que compõem a Via Láctea não são mais do que pontos marcando sua posição.

As outras galáxias estão uniformemente espalhadas ao seu redor, ainda que estruturas que se assemelhem a filamentos estejam evidentes.

Bom.

Isso é simples. É seu arranjo inicial. Você alimenta isso com as equações de Einstein para ver o que sai delas, se é que algo sai. E espera, ansioso, não se atrevendo a esperar muito. E então... Um milagre. Funciona! Tudo ao seu redor, em todo lugar que você observa, as galáxias e os aglomerados de galáxias se movem ao redor uns dos outros como esperado, mas isso não é tudo. O universo que o cerca, o volume do universo que pode ser observado da Terra, começa a se expandir. O espaço-tempo se estende no meio de todos os pontos galácticos, fazendo-os se afastar uns dos outros, independentemente de como eles se movem ao redor uns dos outros. A despeito de seus movimentos

numa escala pequena, local, são como sementes de papoula num bolo sendo assado ou pontos sobre a superfície de um balão sendo enchido: quanto mais longe da Terra, mais rápido eles se afastam. Isso é o que seus amigos viram quando você lhes deu seus telescópios. Essa é a expansão do universo.

Ao alimentar a equação de Einstein com um modelo simples do universo visível, você conseguiu algo que, antes da época de Einstein, jamais tinha sido imaginado em qualquer época da história da humanidade. Algo que corresponde àquilo que viu ali no céu, àquilo que os cientistas observam todos os dias: o universo em si pode evoluir (de acordo com Einstein) e evolui (de acordo com as observações).

Com esse pensamento, a *cosmologia*, a ciência do estudo da história passada e futura de nosso universo, nasceu. Antes de Einstein, só tínhamos *cosmogonias*, história que contávamos a nós mesmos a fim de não enlouquecermos a respeito da origem misteriosa de nossa realidade. Agora, também temos a ciência. Um meio de desvendar a história que os seres humanos não escreveram, e sim a natureza.

Quando percebe que todos os pontos que o cercam evoluem, você se dá conta de que, com a equação de Einstein, é possível pressionar o botão de “rebobinar” em sua mente, para fazer a expansão se mover para trás.

E você faz isso.

Em vez de crescer, o bolo de papoula, que é o nosso universo visível, começa imediatamente a diminuir. Seu olho cósmico o vê se contrair: os passados que estavam longe agora se movem em direção ao presente, em sua direção, engolindo as imagens dos anos vindouros.

É toda a esfera que limita o universo visível da Terra que se contrai.

E se contrai.

E se contrai, até...

*

Cerca de cem anos atrás, quando Georges Lemaître, físico e padre jesuíta belga, decidiu implantar os três princípios cosmológicos num mecanismo universal similar, imaginário, a fim de observá-lo se expandir e contrair no devido tempo, sua conclusão foi direta: nossa realidade, ao que parece, a própria realidade que fora admitida como certa desde que os seres humanos foram capazes de pensar, provavelmente tinha um começo.

As equações de Einstein levaram Lemaître, e muitos outros mais tarde, à ideia bastante desconcertante de que nosso universo, ainda que tenha sempre

contido toda a energia que ainda contém hoje, não tinha tamanho algum outrora.

Nenhum tamanho, no espaço ou no tempo.

Definitivamente, uma ideia que pareceu absurda, e é possível que ainda pareça; mas isso era o que a equação de Einstein afirmava.

Pelo que sabemos hoje, porém, isso parece ser a melhor ideia que a humanidade propôs para entender o que vemos no céu noturno.

E a teoria que sustenta que tudo o que nosso universo visível contém tinha tamanho zero (ou próximo de zero), em algum período de seu passado, é denominada *teoria do Big Bang* (quente).

“Quente” porque só um passado muito quente pode enfrentar o fato de ter toda a energia de nosso universo visível comprimida num volume extremamente pequeno. O centro do Sol é quente porque toda a matéria que contém está comprimida por sua própria gravidade. Comprima todo o universo visível numa esfera do tamanho do Sol e obterá outro nível de quente.

“Big” [grande] porque envolve todo o universo visível.

E “bang” [estrondo] porque a expansão que se seguiu faz parecer que houve uma explosão em nosso passado, pouco depois do nascimento de nosso universo, embora vamos ver mais tarde que não foi uma explosão.

Uma “deflagração extraordinária, tremenda, surpreendente e furiosamente causticante, quente, imensa, onipresente, universal” pode transmitir melhor a ideia do que aconteceu, mas “Big Bang Quente” também é bastante eficaz, e mais humilde.

E isso deveria ser humilde, pois, ainda que possa parecer ao nosso olho cósmico que tudo acerca desse Big Bang esteja centrado em nosso planeta, a Terra, não é o caso.

Como verá agora, o Big Bang não aconteceu em um ponto específico do espaço-tempo, mas em todo lugar.

Capítulo 8

Além de nosso horizonte cósmico

Quando estava na praia, exatamente no início de sua jornada, você quis saber se o que podia ser visto no céu a olho nu era todo o universo.

Agora, sabe que não é.

Nossos olhos só nos permitem ver algumas centenas de estrelas, todas pertencentes a nossa galáxia, a Via Láctea, e alguns traços pálidos, aos que sabem para onde olhar, de algumas outras galáxias próximas.

Usando telescópios, todo o universo observável, sabe agora, é muito maior do que isso. Mas ele também tem um limite: a superfície de última difusão.

Essa superfície está em nosso passado, cerca de 13,8 bilhões de anos atrás.

Mas também está no espaço: cerca de 13,8 bilhões de anos-luz de distância.²³

Isso limita o que podemos ver hoje.

Qualquer luz originária de uma distância maior precisaria ter viajado mais de 13,8 bilhões de anos para nos alcançar. No entanto, há mais de 13,8 bilhões de anos, a luz não podia viajar livremente. Ela estava presa. Todo o universo era muito denso naquele tempo. A luz só se tornou livre para atravessar o espaço e tempo há 13,8 bilhões de anos, e a superfície de última difusão é a imagem que resta daquele momento. Vista dali, marca o início de um espaço-tempo transparente. Vista da Terra, marca a extremidade do universo visível.

De certa forma, essa superfície é nosso horizonte cósmico. Não se pode ver além. Não da Terra.

Desde o início deste livro, você viajou dentro do universo como este é visto da Terra.

Sempre se limitou ao universo visível, o universo que está no interior de nosso horizonte cósmico, um horizonte que está centrado em nós.

Mas o que dizer do universo como é visto de outro lugar, de algum lugar diferente da Terra? O horizonte cósmico ainda estaria centrado na Terra?

Imagine-se sendo levado pela corrente numa jangada, no meio do oceano, longe de todas as terras. O horizonte é claramente visível para você: uma linha separando a água e o céu. Olhando ao redor, pode ver que isso forma um círculo, um círculo cujo centro é você.

Isso significa que você está no centro do oceano?

Claro que não.

Significa que está no centro da parte do oceano que consegue ver, seu oceano *visível*. De nenhuma maneira consegue ver além de sua beira, além desse seu horizonte.

Mas não significa que esse além não existe.

Existe.

Claro que existe.

Uma amiga sendo levada pela corrente em outra jangada, a alguma distância, também teria um horizonte a cercando. O horizonte *dela*, delimitando o oceano visível *dela*.

Se ela estiver bastante perto, poderá estar dentro de seu alcance visível. Então, seus oceanos visíveis teriam algumas ondas em comum, mas ela seria capaz, em certa direção, de ver além do que você vê, além do seu horizonte, assim como você seria capaz, na direção oposta.

Mas ela poderia também estar além de seu horizonte.

Nesse caso, vocês poderiam ter partes de seus oceanos visíveis em comum, sem saber da existência um do outro.

Uma terceira possibilidade é que sua amiga esteja tão distante inicialmente que o oceano visível dela e o seu não tenham nada em comum. Como visto do céu, significaria que os círculos limitando o que cada um de vocês pode ver não se cruzam. Tudo o que pode ser visto de onde ela se encontra estaria oculta sua visão. Ela poderia estar observando algumas ilhas vulcânicas e baleias, mas você não tomaria conhecimento de nada disso.

No espaço, é igual.

O universo que podemos ver da Terra é uma esfera com um raio de 13,8 bilhões de anos-luz.

Mas isso não significa que não há mais além.

Outra pessoa, em outro planeta, estaria cercada por seu horizonte cósmico, que também teria um raio de 13,8 bilhões de anos-luz, pois não há motivo para o universo ser mais jovem ou mais velho ali, em comparação com aqui.

Os três princípios cosmológicos de que você tomou conhecimento antes

foram introduzidos para assegurar isso: um universo visível tão remoto, que não possui parte visível em comum com o nosso, deve parecer semelhante ao nosso (não idêntico, evidentemente, mas semelhante) e obedecer às mesmas leis da física.

Mesmo se a jangada dela estiver muito distante, impossibilitando-o de vê-la, você não suporia que o oceano visível de sua amiga envolva montanhas voadoras.

O mesmo acontece em relação ao espaço sideral. As leis da natureza devem ser as mesmas em todo lugar. E nenhum local específico deve se diferenciar a esse respeito de qualquer outro.

Conclui-se que o universo visível observado por alguém que vive em qualquer lugar em nosso universo inteiro (além do visível) também deve estar se expandindo e também deve obedecer à equação de Einstein, significando que, se retrocedêssemos no tempo, encontraríamos um Big Bang, exatamente como aqui. Um Big Bang centrado neles, dessa vez, não em nós.

Com essa visão de todo o nosso universo, não há essa coisa de um centro disso tudo, e o Big Bang ocorreu por toda parte.

Com essa visão, experimentamos um pouco daquilo que é denominado *multiverso*: um universo constituído de diversos universos distintos, incapazes de se comunicar entre si, embora todos pertençam ao mesmo todo.

Você verá quatro casos distintos desses multiversos antes do fim deste livro. Esse é só o primeiro, e eu o apresento em primeiro lugar porque a maioria dos cientistas acredita que esteja correto.

Agora, ao aceitar isso, significa que o universo inteiro, o “tudo” que se obtém emendando todos os universos visíveis como vistos de toda parte, é infinito?

Não, não significa. O oceano inteiro, por exemplo, o oceano que se obtém emendando todos os oceanos visíveis, vistos de quantas jangadas você quiser, é finito.

Então, o universo inteiro é finito?

Não. Pode ainda ser infinito.

Não sabemos.

Como mencionei no início do capítulo anterior, as equações de Einstein, infelizmente, não nos dão uma resposta a essa pergunta.

Tudo bem.

Agora, o que foi provado aqui? Você acha que não muito? Nada?

Talvez até a teoria do Big Bang pareça fraca para você, apenas um

pensamento abstrato.

Bem, é verdade que podemos sustentar que o que seus amigos viram no céu (quanto mais distantes as galáxias longínquas estiverem de nós, mais rápido elas se afastam de nós) indica simplesmente que o universo está em crescimento *atualmente*. Muitos possíveis passados podem ter levado a essa expansão. Não é necessário introduzir todo esse absurdo de Big Bang.

Alguém pode sustentar isso, sim. Mas não por muito tempo.

Ciência não é política.

A natureza não se importa muito a respeito da opinião de alguém, mesmo que pertença à maioria.

As provas experimentais sólidas são sempre necessárias.

E, como veremos agora, há, de fato, algumas peças sólidas de evidência de que há um Big Bang em nosso passado, indícios que são tão convincentes que algumas pessoas chegam ao ponto de considerá-los provas.

²³ De fato, está muito mais longe do que isso, pois o universo continuou em expansão desde que a luz que nos alcança agora partiu. Os físicos estimam que a distância agora é de cerca de 46 bilhões de anos-luz.

Capítulo 9

A evidência incontestável do Big

Bang Se nosso universo (apeguemo-nos ao visível) foi menor no passado, como podemos provar isso? Viajar no tempo fisicamente não é uma opção, mas podemos *investigar* o passado.

A esta altura, deve estar acostumado com o fato de que, quando coleta a luz proveniente das estrelas que brilham a bilhões de anos-luz de distância, está vendo o que elas pareciam há muitos bilhões de anos. Você está observando o passado. Portanto, pode verificar se o universo era menor naquele tempo ou procurar indícios com esse objetivo na maneira pela qual a luz o alcança.

Nem sempre é fácil, porém, compreender o que alguém está vendo nos domínios distantes do universo. De longe, a melhor maneira de proceder é ter uma imagem firme do que esperar e, depois, verificar se a imagem corresponde à realidade. Isso é o que o físicos teóricos fazem (ao menos é o que eles deviam fazer de vez em quando).

Contudo, por enquanto, vejamos a que conclusão você pode chegar antes de olhar para cima por meio de um telescópio.

*

Você está de volta à praia de sua ilha tropical.

É tarde da noite, mas, em vez de observar as estrelas, e depois de verificar duas vezes se ninguém está por perto, você começa a falar sozinho, pensando em voz alta, para criar uma imagem da história do universo em sua mente...

“Se o universo está se expandindo, então deve ter sido menor no passado.”

“OK.”

“Mas, *se* era menor no passado, então a gravidade, ou a curvatura do espaço-tempo, devia ser muito mais acentuada naquela época, pois toda a matéria e energia devia estar contida dentro de um volume menor.”

“Isso é o que equação de Einstein diz.”

“Tudo bem.”

“Naquela época, o espaço-tempo cresceu porque, por algum motivo, houve uma expansão. Começou muito pequena e muito densamente cheia de matéria e energia, e, então, após 13,8 bilhões de anos de expansão, tornou-se o que é agora, com planetas como a Terra e estrelas como aquelas que podem ser observadas de sua ilha.”

“Se essa é uma imagem correta, na época em que o universo era pequeno...”

“Se era denso com massa ou com energia não faz realmente qualquer diferença, pois massa e energia possuem o mesmo efeito sobre a geometria do espaço-tempo. Isso é o que Einstein também disse.”

“Até aqui tudo bem.”

“Agora, *se* toda aquela energia estava contida num volume diminuto, então, certamente, houve muito atrito e muitas outras coisas, e tudo ficou muito quente, no universo inicial.”

Parece justo? Sim, mas essa não é a primeira vez que você chegou a essa conclusão.

No entanto, há outras conclusões a que alguém pode chegar a partir disso.

Como esta: o universo podia ser *tão* denso que *nenhuma* luz ao redor, naquela altura, conseguiu viajar através dele.

“Nenhuma luz conseguiu viajar através... Hum... Isso parece um muro...”

*

Parece. Você tem razão.

Parabéns.

Esse lugar *deve* ter existido em algum período do passado de nosso universo se o modelo de expansão está inteiramente correto, e, bem, esse lugar existe. Você viu sua superfície. É a superfície de última difusão, a superfície que limita o que pode ser visto de nosso universo.

O que você acabou de fazer é notável.

Viveu o sonho de um físico: da lógica pura, usando as equações de Einstein e

o que viu do universo desde que partiu de sua praia, descobriu que um muro opaco à luz deve existir lá fora, em nosso passado. Que sua superfície deve ainda estar visível e... está. Essa superfície foi detectada experimentalmente, e de certo modo mapeada, como verá agora.

Entendo que, durante essa leitura, possa não sentir que acabou de revolucionar nossa visão de universo, mas isso acontece porque você foi apresentado ao muro antes de pensar a respeito dele. Não passou cerca de vinte anos de sua vida tentando provar que o muro devia existir, muito antes de quando foi visto. Aqueles que fizeram isso, porém, se sentiram incríveis quando foi provado que o muro existia.

Como foi provado?

Bem, agora, ao começar a passear pela praia de novo, você percebe que há um problema: a superfície que viu na extremidade do universo visível atual não corresponde totalmente ao que acabou de pensar a respeito, certo? A real, aquela que podemos ver por meio de nossos telescópios, é muito fria, enquanto o muro que acabou de imaginar em sua mente deve ter ficado muito quente.

Quão quente?

Usando a equação de Einstein, algumas pessoas realmente calcularam sua suposta temperatura. E elas sugeriram um número bastante grande: cerca de 3.000°C . O universo inteiro, quando se tornou transparente, deve ter ficado quente assim, descobriram.

A superfície que você viu no céu não estava.

E isso é um problema.

Mas não se esqueceu de algo?

Não supôs, para inferir a existência de um passado quente, que o espaço-tempo se expande, que o volume do universo visível cresceu com o tempo, para corresponder àquilo que seus amigos viram no céu? E que essa expansão pode ter um impacto sobre a temperatura do universo?

Sim. Não só pode, mas deve, e isso realmente muda tudo.

Considere o forno que você tem em sua cozinha. Aqueça-o, de modo que o ar no interior dele fique quente. Em seguida, desligue-o e imagine que o forno passe por um rápido crescimento, tornando-se do tamanho de um prédio. Instantaneamente, a temperatura dentro ficará muito mais baixa do que quando o forno era pequeno.

Cálculos feitos em 1948 pelos cientistas norte-americanos George Gamow, Ralph Alpher e Robert Herman mostraram que, devido à expansão do universo, apenas um débil traço da radiação acima mencionada de 3.000°C deveria

permanecer e preencher todo o nosso universo visível, como se emanando da superfície de seu muro. Que temperatura eles esperavam encontrar? Algo entre -260°C ou -270°C . Algo entre 3°C e 13°C acima do zero absoluto.

E acontece que, em 1965, cerca de dezessete anos após os cálculos de Gamow e seus colegas, dois físicos norte-americanos, Arno Penzias e Robert Wilson, acharam um trabalho peculiar no Bell Laboratories, nos Estados Unidos. Eles tinham de ajustar uma antena para receber ondas de rádio que ecoavam de um satélite em forma de balão. Um trabalho fácil e agradável, se não fosse por um obstáculo muito estranho, um ruído incômodo que eles escutavam em todos os sinais. Para se livrarem dele – e receberem o pagamento –, eles fizeram verificações brilhantes e procuraram possíveis falhas de engenharia. Mas nada funcionou. Independentemente de o que fizessem, o ruído permaneceu, incontrolável. Finalmente, não encontrando outra razão para isso, culparam pombos, ou quaisquer outros pássaros que estivessem voando por perto, por terem defecado na antena avançadíssima deles. Apesar de suas realizações acadêmicas impressionantes, Penzias e Wilson passaram a dedicar um longo tempo à limpeza de seu aparelho, amaldiçoando a existência dos pássaros. Mas o ruído não desaparecia, e eles acabaram chamando alguns amigos que eram físicos teóricos. Logo em seguida, eles se deram conta de que poderiam ter tentado se livrar daquele ruído para sempre sem a menor chance de sucesso. O que eles estavam escutando não era devido às lembrancinhas de alguns pássaros. O “ruído” não era nem mesmo da Terra. Era um sinal. Um sinal com uma temperatura, uma temperatura de $-270,42^{\circ}\text{C}$. E estava vindo do espaço. De todo lugar.

Gamow, Alpher e Herman tinham previsto isso. Era uma consequência das equações de Einstein. Era a temperatura restante do último momento opaco de nosso universo; um instantâneo fotográfico de um momento com mais 13,8 bilhões de anos, quando um universo muito menor estava tão densamente preenchido com matéria e energia que nenhuma luz era capaz de viajar através dele.²⁴

Penzias e Wilson confirmaram experimentalmente a previsão de uma teoria que pareceu tão absurda para alguns cientistas que mesmo seu nome, a teoria do Big Bang, foi cunhado por um dos mais renomados professores da época, o cientista britânico Fred Hoyle, da Universidade de Cambridge, apenas para ridicularizá-la. Em 1978, Penzias e Wilson receberam o Prêmio Nobel de Física. Eles descobriram que o calor que permanece do forno de nosso universo tinha muito tempo; o calor que irradia da superfície de última difusão, a

superfície que marca o fim do universo visível.²⁵ Essa radiação, uma das evidências incontestáveis do Big Bang (quente), é denominada *radiação cósmica de fundo em micro-ondas*.

Penzias e Wilson provaram que as teorias do Big Bang estavam no caminho certo.

*

Agora, por que essa radiação é denominada “micro-onda”?

Isso, de novo, relaciona-se com a expansão do universo. A luz emitida na época da última difusão, quando o universo se tornou transparente, era muito visível e continha distintas cores, energias e frequências. Mas não é mais visível aos nossos olhos: foi esticada.

Você se lembra de que a cor e a energia das ondas de luz dependem da distância entre duas cristas consecutivas? Bem, a cor se esticou por meio da expansão do espaço-tempo durante 13,8 bilhões de anos. Começando com índigo, torna-se, gradualmente, azul, verde, amarelo, laranja, vermelho, e, em seguida... Torna-se invisível aos olhos, e se torna infravermelha e, por fim, micro-ondas.

Estamos no estágio da micro-onda hoje. O que outrora era visível como luz visível, quente, tornou-se agora, após 13,8 bilhões de anos de expansão, micro-onda fria com $-270,42^{\circ}\text{C}$.

Com essa compreensão, as teorias do Big Bang, de repente, não eram mais teorias dignas de zombaria.

Mas o que essas teorias significam? Elas sugerem que o universo foi criado na superfície de última difusão?

Não, não sugerem.

No capítulo anterior, você viu que a superfície que nós, na Terra, vemos no fim de nosso universo visível não significa nada para os observadores que não estão na Terra: eles têm sua própria superfície.

Mas agora o que dizer a nosso respeito?

Se o universo não foi criado ali, deve haver algo além.

O que podemos encontrar ali? Nós sabemos? Isso é o Big Bang?

Bem, de certo modo, sim.

O Big Bang está atrás da superfície.

Mas não bem atrás.

Acontece 380 mil anos antes, 380 mil anos antes de o universo ficar transparente.

Atrás (ou além, ou diante) da superfície de última difusão, o que posteriormente se tornou nosso universo visível pode ser descrito como uma sopa de matéria, luz, energia e curvatura, que ficou mais densa e mais quente. Em breve, você estará pronto para viajar para lá e ver tudo isso por si mesmo. Porém, por enquanto, digamos apenas que, quanto mais longe viajar além do muro, para o passado profundo de nosso universo, mais extremo tudo fica. Viajando para o muito além, acaba cercado por mais nada que faça sentido. O espaço e tempo acabam ficando tão enroscados que até as equações de Einstein perdem validade e não conseguem se manter a par do que está acontecendo.

Quando isso acontece, os físicos teóricos alcançam um lugar onde mais nada pode ser dito a respeito de qualquer coisa. Esse momento pode ser considerado o nascimento do espaço e tempo como os conhecemos. De acordo com a definição que devemos usar ao longo deste livro, está além do próprio Big Bang.

Alcançar esse lugar e descobrir o que é o Big Bang serão suas missões na Parte V.

Na Parte VII, em sua jornada final, irá ainda mais longe, além das próprias origens do espaço e tempo.

Por que não ir para lá neste exato momento?

Bem, porque por enquanto você deve dedicar alguns segundos a respirar e a se congratular.

Progrediu muito desde que pousou na Lua. Aprendeu diversos fatos a respeito do universo que seus bisavós jamais teria imaginado ser possíveis.

Aprendeu que o tecido de nosso universo é uma mistura de espaço e tempo denominada espaço-tempo e que ele não é só formado por aquilo que contém, mas também evolui de acordo com sua geometria e seus conteúdos.

Aprendeu que o universo é imenso por qualquer critério, ainda maior do que podemos ver, e que não conhecemos sua forma ou sua extensão.

Realmente, nossa realidade visível é enorme, mas nem sempre foi assim.

Você aprendeu que o universo possui uma história, que muito provavelmente teve início há cerca de 13,8 bilhões de anos, oculta atrás de uma superfície opaca à luz.

E aprendeu que o universo se expandiu desde então, ficando maior a cada minuto.

E deve estar orgulhoso de ter descoberto tudo isso.

Então, por que não ir direto para o começo de nosso universo?

Um bom motivo pode ser que deve, em primeiro lugar, tentar descobrir o que

nosso universo contém. Sem esse conhecimento, você fica sem nenhuma chance de desvendar algum dia seus segredos mais profundos. Nem a respeito de sua possível origem, nem a respeito de seu possível destino.

“Tudo bem, vamos fazer isso”, você grita para si mesmo, abrindo os olhos.

Uma brisa noturna suave sopra sobre o mar. A Lua está cheia. Sua superfície redonda reflete raios do Sol, banhando sua ilha de luz prateada e sombras. Algumas tartarugas rastejam com desconfiança para fora da água, a fim de passar a noite na areia, e talvez depositar seus ovos, se for o dia certo.

E você se sente incrível.

“Volto logo!”, grita para as estrelas.

No entanto, você não está mais sozinho.

Ao escutar os murmúrios atrás de si, se vira e vê seus amigos discutindo sua situação com sua tia-avó.

Tendo escutado você falar sozinho na praia durante toda a noite, decidiram antecipar sua data de partida e procuraram o voo mais cedo para casa. Seu avião decola dentro de algumas horas. Você deve fazer as malas e descansar um pouco, afirmam eles.

E seus gritos, suas reclamações, suas objeções filosóficas e seus discursos a respeito de liberdade não fazem diferença.

Você está sendo mandado para casa.

Por mais triste que possa estar por ter de deixar para trás o mar, os pássaros e a brisa agradável, deixe-me lhe dizer apenas isto: sua jornada através do moderno conhecimento científico só acabou de começar.

24 Se você estiver querendo saber: em 1 bilhão de anos, essa superfície ainda será a mesma, só que mais distante e, portanto, mais opaca. E, em centenas de bilhões de anos, não será mais observável. Assim, algum dia, num futuro muito, muito distante, nossos descendentes não serão capazes de demonstrar que nosso universo começou com um Big Bang...

25 Você também pode ter se perguntado o motivo da denominação “superfície de última difusão”. Bem, quando a luz (um fóton, por exemplo) atinge um elétron, ela se difunde. Diante do muro, a luz difundia matéria o tempo todo. A matéria estava tão densamente embalada que as difusões aconteciam de modo contínuo, e os fótons não conseguiam viajar. Daí, a opacidade do universo. No entanto, o universo se expandiu e ficou menos denso. Até o ponto que, certo dia, a luz conseguiu viajar livremente. Foi quando a luz se difundiu pela última vez, fazendo a superfície da última difusão aparecer em nosso passado. Esse é o seu muro. É a luz daquele momento, luz que ainda recebemos hoje, que Penzias e Wilson detectaram, depois de ela ter viajado durante 13,8 bilhões de anos.

PARTE III

Rápido

Capítulo 1

Preparando-se

Nossos sentidos estão adaptados à nossa escala, ao nosso tamanho, à nossa sobrevivência aqui na Terra. Nossos olhos estão ajustados para julgar se uma fruta está madura para consumo; nossos ouvidos, para escutar o perigo; e nossa pele, para sentir o frio do gelo e o calor do fogo. Nossos sentidos nos permitem ver, cheirar, tocar, saborear e escutar nosso ambiente, esse mundo, essa realidade dentro da qual vivemos.

Mas essa realidade não é tudo.

Somos bastante pequenos em comparação com nosso planeta. E a Terra em si, por sua vez, tampouco é muito grande em comparação com o cosmos, como você viu em suas viagens pelo universo. Portanto, seria bastante estranho se, a fim de sobrevivermos em nosso pequeno e modesto planeta, nossos corpos tivessem desenvolvido sentidos espetacularmente de alta especificação, capazes de registrar cada estímulo conhecido e desconhecido de todo o cosmos.

Na vida diária de um ser humano na Terra, ao longo de toda a história humana até aqui, nossos corpos simplesmente não precisaram apreender os mistérios do mundo subatômico, a velocidade da luz e o conjunto completo de luzes, desde micro-ondas até raios X. De fato, nem mesmo conseguimos relatar a diferença entre duas temperaturas extremamente quentes, ou, aliás, duas extremamente frias: elas fundiriam ou congelariam nossos dedos antes de conseguirmos julgar suas sutilezas. Para nossa sobrevivência, é muito mais importante afastar nossa mão do fogo ou protegê-la do frio.

Somos capazes de detectar o ácido brando de um limão com nossa língua, julgando se está bom para consumo; mas não conseguimos julgar a diferença cáustica entre ácido sulfúrico e ácido clorídrico: eles queimariam nossa língua, abrindo um buraco nela.

Da mesma forma, nossos corpos não sentem as curvas do espaço-tempo além

de seu efeito gravitacional direto: no que diz respeito à nossa vida diária, tudo o que precisamos saber é que estamos a salvo na superfície de nosso mundo.

Então, o mundo que percebemos por meio de nossos sentidos é, por sua própria natureza, limitado. Nossos sentidos são as nossas janelas para o mundo, mas são apenas vigias minúsculas observando um imenso mar de escuridão. E, durante milhares de anos, nossa intuição a respeito do que confiantemente denominamos nossa “realidade” não teve nada além dessas percepções pelos sentidos para se construir.

Mas esse não é mais o caso.

Atualmente, podemos ver além de nossos sentidos.

E além, a realidade muda.

Nas duas primeiras partes deste livro, você viajou para todos os lugares. Cruzou vazios intergalácticos e até vislumbrou quão grande é o nosso universo. Descobriu que aquilo que Newton achava que era universal a respeito da gravidade na realidade não é. Gravidade, como Einstein nos descreveu, é o resultado da curvatura do espaço-tempo. Não é uma força.

Newton nos ensinou como usar as palavras e as equações para descrever e prever o comportamento do mundo que detectamos por meio de nossos sentidos. Einstein, com sua teoria da relatividade geral, o levou para mais além, e não foram seus sentidos animais que lhe permitiram segui-lo ali. Foi seu cérebro.

Usando-o, descobriu uma lei que funde espaço, tempo, matéria e energia na teoria da gravidade.

Esse foi seu primeiro “além”.

*

Agora, você está prestes a ingressar em dois aléns distintos, como um aventureiro errante em continentes recém-descobertos, onde nada é familiar e onde nada pode ser admitido como verdade absoluta, nem mesmo as leis da natureza.

O primeiro desses dois aléns é o domínio do muito rápido, e o segundo, o mais rico deles, é o do muito pequeno.

Claramente, isso parecerá um tanto estranho num primeiro momento (e num segundo, e num terceiro...), e garanto que seu “bom senso” o alertará que aquilo que encontrar parece *errado*, mas lembre-se: toda a matéria da qual seu

corpo é composto pertence a essas terras exóticas. O fato é que você é construído de realidades cujas regras da natureza são muito distintas daquelas que estamos acostumados a experimentar deitados sobre uma espreguiçadeira numa praia tropical. Somente por meio de um mecanismo muito estranho à realidade que percebemos dia após dia aparece para nós como é.

Capítulo 2

Um sonho peculiar

Você está sentado no assento 13A, ao lado da janela. Há 73 passageiros no avião. Todos parecem normais, exceto seu vizinho. Ele é meio estranho. Você tenta não olhar para ele e quase deseja não ter pedido um assento longe de sua tia-avó. Só está a bordo há alguns minutos, mas foi um dos últimos passageiros, e o avião, neste momento, está pronto para decolar. À distância, em terra, seus amigos das férias estão se despedindo com acenos, visivelmente aliviados de vê-lo partir. Você suspira. Por mais assustador que tenha parecido, viajar pelo universo foi bem divertido. Não está tão entusiasmado para voltar para casa nesse momento.

Os motores impulsionam o aparelho alado em direção ao céu, em direção ao declive de espaço-tempo que nosso planeta cria meramente por estar ali. Você é pressionado contra seu assento e, portanto, sente-se mais pesado do que o habitual. Na realidade, está experimentando a gravidade exatamente como se estivesse sentado não num avião, mas na superfície de outro planeta, cuja gravidade é mais forte que a da Terra.

Ansiando por outra jornada interestelar, fecha os olhos e começa a dar asas à imaginação.

Uma bela paisagem alienígena aparece em sua mente, com árvores estranhas, lagos e um céu com dois sóis. Você se lembra de que, nos últimos anos, a humanidade detectou milhares de planetas orbitando estrelas distantes, com alguns deles potencialmente semelhantes à Terra.

Lentamente, o zumbido dos motores do avião embalam seu sono, e você começa a sonhar que está em algum lugar distante, voando num avião futurista por um céu estranho, rosado e duplamente estrelado. Uma voz distante alcança seus ouvidos. Diz que seu avião alcançou a altitude de cruzeiro e, naquele momento, acelerará até a velocidade sem precedentes de 99,999999999% da

velocidade da luz.

Algun tempo depois, quando seu avião começa a descer, a voz de uma aeromoça o desperta. Uma espiada rápida em seu relógio lhe revela que você dormiu cerca de oito horas. Você se espreguiça e boceja, abre o protetor da janela e olha para fora. Há somente um Sol. Seus raios estão sendo refletidos nas nuvens matinais, dando-lhes uma coloração rosada, não muito diferente do céu estranho que imaginou antes de adormecer. Abaixo do avião, porém, a superfície da Terra não parece como esperada. Um oceano aparentemente interminável se estende até o horizonte.

O pouso do avião está previsto para daqui um minuto, mas tudo o que consegue ver é mar aberto... Pensamentos sombrios arrepiam sua espinha. Seu avião foi sequestrado? Os outros passageiros parecem bastante relaxados, incluindo sua tia-avó, sentada algumas fileiras à frente, e o cara estranho ao seu lado está dormindo. Então, não, não é um sequestro.

Mesmo assim algo está errado.

Será que toda a Terra ficou inundada enquanto você dormia?

Você leu em algum lugar que há 10 mil anos, aproximadamente, os oceanos eram muito mais profundos do que são hoje, cobrindo uma porção apreciável dos continentes. Olhando pela janela, se pergunta: será que você viajou para o passado, acordando em uma Terra inundada, habitada por espécies extintas há muito tempo? Sorri com a ideia, mas não consegue se livrar de uma sensação incômoda de que algo não está certo.

Você dormiu por cerca de oito horas, parece. E viajando. Enquanto estava consciente, algo pode ter acontecido com você ou com seu avião.

*

Ao longo da vida, você provavelmente, como todas as outras pessoas, acostumou-se a acordar onde adormeceu. Agora imagine que nunca dormiu antes e adormeceu pela primeira vez na vida. Sem dúvida, ficaria bastante confuso ao acordar. A primeira coisa que você faria seria verificar onde está e que horas são, como alguns de nós fazemos em pânico quando acordamos longe de casa. De fato, longe de casa ou não, a maioria de nós sistematicamente verifica a hora quando acorda de manhã. Só em raras ocasiões – após uma festa especialmente boa, por exemplo –, também verificamos o lugar.

No entanto, acontece que acordar no mesmo lugar que adormeceu nunca

aconteceu com você nem com ninguém. Nunca. A Terra não para de se mover enquanto você dorme. Cada hora que passa, a Terra percorre pouco mais do que 800 mil quilômetros ao redor do centro de nossa galáxia. E o mesmo acontece com você. Isso equivale a cerca de vinte viagens ao redor do planeta. Por hora. No entanto, ninguém nota, desde que suas camas permaneçam sob seus corpos.

Contudo, se a Terra ou apenas você também estivessem viajando no tempo, a coisa mudaria de figura. Mas isso não é possível. Viagem no tempo não existe. Ou existe?

Ao olhar pela janela do avião e ver uma grande cidade no meio de um oceano, você se dá conta de que não está prestes a pousar na Terra que deixou.

De forma compreensível, começa a se apavorar e tenta ficar de pé, mas o cinto de segurança o mantém preso ao assento e o barulho dos motores encobre seus gritos. Você acena freneticamente para um comissário de bordo, que o fuzila com o olhar. Em seguida, ele estende a mão e pega o microfone, para lembrar a todos que qualquer distúrbio durante a descida e o pouso ainda é, no ano de 2416, passível de punição.

Você arregala os olhos.

Que ano ele disse?

Um segundo depois, o avião pousa na água e começa a atravessar uma passagem de arranha-céus de vidro, cujo estilo de arquitetura lhe parece estranho.

Enquanto você olha sem entender através da janelinha, escuta a aeromoça de novo. Com o tom tranquilo e profissional utilizado pelas tripulações de todo o mundo, ela dá as boas-vindas, em 4 de junho de 2416, quatro séculos depois de sua partida, três dias depois da chegada programada. Naquele momento, são 10h25, e a névoa matinal logo se dissipará, dando lugar a um tempo claro, ensolarado. Todos os passageiros devem esperar temperaturas cerca de dez graus acima das médias dos primeiros 25 séculos. Obrigado por escolher a McFly Airlines, empresa membro da Futura Skies Alliance.

2416.

Você dá um olhada em seu smartphone. Sem sinal. Típico. Felizmente, porém, seu relógio ainda funciona. E parece passar a impressão de que só viajou por oito horas. E não por 400 anos.

Algo está muito errado.

Isso é um truque? Seus amigos planejaram tudo isso?

Você verifica sua passagem.

Está tudo certo.

Você foi drogado?

Pior ainda: isso pode ser real?

Será que um cobrador de dívidas vai estar esperando no aeroporto para cobrar 400 anos de alugueis não pagos? E a garota que conheceu recentemente? E quanto ao leite que deixou na geladeira? Questões práticas importantes cruzam sua mente, fazendo sua cabeça girar.

Quatrocentos anos no futuro.

E futuro de quem, fora isso? Sem dúvida, não o seu, pois seu corpo não parece ter envelhecido nas oito horas desde a decolagem. O futuro de seus amigos e de sua família, então? A cidade na qual você acabou de pousar não parece com nenhuma do século em que cresceu.

De fato, o tempo parece ter avançado rapidamente fora do avião, enquanto você estava dormindo.

Mas espere...

Como o tempo *fora* do avião avançou rapidamente, enquanto o tempo *dentro* não avançou da mesma maneira?

Isso parece absurdo.

Mas pelo visto é o caso.

Na realidade, é o caso.

E a velocidade excepcional de seu avião é a responsável por isso.

Capítulo 3

O nosso próprio tempo A velocidade muda tudo. Até o espaço e tempo.

Um relógio movendo-se pelo espaço, numa velocidade muito alta, não funciona no mesmo ritmo que um relógio preso ao seu pulso durante uma lenta caminhada por uma praia tropical. A ideia de um tempo universal – um relógio divino que, de algum modo, poderia se situar em nosso universo e medir, em uma tentativa, o movimento de tudo nele, como sua evolução se desdobra, que idade ele tem, e tudo isso – não existe.

O que acabou de acontecer agora, no avião, ilustra isso.

O tempo que nós, seres humanos, experimentamos parece ser o mesmo para todos – “universal” –, mas experimentamos isso como tal só porque, em comparação com a luz, nenhum de nós (nem mesmo pilotos de aviões de caça) está se movendo muito mais rápido ou muito mais devagar do que outra pessoa, o que é muito auspicioso para os relojoeiros.

Mas, ainda que nossos sentidos talvez não sejam capazes de perceber isso, persiste o fato de que, se todas as pessoas, os animais e os objetos sobre a superfície de nosso planeta tivessem seus próprios relógios, isso manteria o nosso próprio tempo de maneira diferente em relação a todos os outros relógios. Todos nós temos o nosso próprio tempo, ligado singularmente a nós mesmos. Einstein descobriu isso dez anos antes de publicar sua teoria da gravidade, ou seja, a teoria da relatividade geral a qual fomos apresentados na parte anterior deste livro.

Naquela ocasião, incapaz de conseguir qualquer tipo de cargo em qualquer universidade, pois ninguém o queria, Einstein, com vinte e poucos anos, estava

ganhando seu sustento como examinador de patentes (na realidade, assistente) em Berna, na Suíça. Mas isso não o impedia de pensar.

No meio da avaliação de solicitações de patentes, Einstein tentava imaginar como o mundo aparentava ser para os objetos móveis, dependendo de suas velocidades. Ele estava procurando uma teoria de corpos móveis. Ainda não estava obcecado pela gravidade. Nem pelo universo como um todo. Apenas pelo fato de os objetos conseguirem se mover dentro dele.

Em 1905, com apenas 26 anos, Einstein publicou seu trabalho, e toda a comunidade científica logo percebeu que alguém do qual ninguém tinha ouvido falar fizera uma afirmação incomum a partir de uma mesa perdida em algum lugar no interior do prédio da Propriedade Intelectual Suíça: que os relógios nem sempre fazem tiquetaque no mesmo ritmo. Em vez disso, o tiquetaque dos relógios dependia de como eles estavam se movendo relativamente uns aos outros.

Ainda melhor, a teoria que aquele jovem desconhecido estava formulando podia prever a real diferença de tempo que devíamos esperar que dois viajantes experimentassem, de acordo com a velocidade relativa deles.

Essa teoria é denominada teoria da *relatividade especial*.

Imaginemos gêmeos.

Dois deles, pois, em geral, vêm em pares.

Alguns anos após a publicação de Einstein, o físico francês Paul Langevin calculou, usando a relatividade especial, que, se um dos dois gêmeos partisse da Terra a bordo de um foguete espacial para uma viagem de ida e volta com duração de seis meses, viajando a 99,995% da velocidade da luz, aquele que ficou na Terra teria de esperar cinquenta anos para rever o irmão. Assim, de acordo com Einstein, seis meses vividos por aquele que partiu no foguete espacial deveriam equivaler a cinquenta anos do que ficou na Terra, e também de toda a humanidade: nosso planeta orbitaria o Sol cinquenta vezes durante a viagem do gêmeo viajante. Embora fossem gêmeos, acabariam não tendo mais a mesma idade, com um sendo 49 anos e seis meses mais velho que o outro. Uma afirmação muito espantosa.

Ao aquecer uma barra de metal, ela se expande e fica mais comprida. Afirma-se que *se dilata*. Se planejar o aquecimento com cuidado, será possível ter somente a dilatação da barra, em vez de, por exemplo, da bigorna onde ela está; ou seja, suas imediações não serão afetadas.

De acordo com a teoria da relatividade especial, um fenômeno similar acontece com o tempo. Com um foguete viajando a 99,995% da velocidade da luz ou um avião voando a 99,999999999% dela, é o foguete, o avião e tudo que eles contêm que se movem rápido. Não suas imediações. Assim, são seus tempos – e só seus tempos – que são afetados pela velocidade extrema em relação ao mundo ao redor deles.

O que os gêmeos de Langevin experimentaram, o que você experimentou voando naquele avião extremamente veloz, é o que os cientistas denominam *dilatação do tempo*. Quanto mais rápido alguém viaja, mais acentuada é a dilatação do tempo.

Um fenômeno muito peculiar.

No entanto, a relatividade especial de Einstein também sugeriu algo ainda mais difícil de aceitar: afirmou que, se o tempo passa por uma dilatação, o comprimento das coisas deve contrair...

Agora, como você adormeceu profundamente em seu avião quando isso aconteceu, permita-me oferecer-lhe outro passeio no mundo do muito rápido.

Você está prestes a ver o que nossa realidade se torna quando observada durante uma viagem em velocidades desconcertantes.

Assim, esqueça-se de seu avião por enquanto e até mesmo da gravidade.

Imagine-se na Terra, num traje espacial, com um par de foguetes presos em suas costas. Foguetes tão bons que nunca ficam sem combustível. Dá adeus à sua vida presente e se apronta para partir em direção ao espaço.

Agora, você parte, esperando que nenhum asteroide esteja no caminho.

Você não é apenas uma mente viajando pela história de nosso universo, mas uma mente e um corpo, como da última vez, embarcando num passeio através do espaço vazio, só por prazer.

Já está no espaço.

Consulta seu relógio.

Tiquetaqueia do jeito que sempre tiquetaqueou: um segundo passa a cada segundo, pelo visto, independentemente do que isso significa.

A Terra está se afastando, mas imagine que haja um imenso relógio pendurado nela, um relógio que você sempre pode consultar, onde quer que você esteja, mostrando o tempo tiquetaqueando, por exemplo, na casa de sua tia-avó, dizendo-lhe a hora, o dia e o ano.

Seu sistema de propulsão é poderoso.

Você está a 87% da velocidade da luz.

Um segundo ainda passa a cada segundo para o relógio em seu pulso e para as células em seu corpo, mas tudo ao redor começa a ficar estranhamente distorcido.

Você se vira para ver o relógio acima da Terra.

Quando um segundo passa em seu relógio, dois passam no seu planeta de origem.

Estranho.

Seu envelhecimento pessoal se reduziu à metade, em comparação ao de todas as pessoas da Terra. No entanto, no que diz respeito à sua percepção, um segundo leva um segundo para passar. É o relógio da Terra que parece estar se movendo mais rápido.

Você continua avançando.

Agora, está se movendo a 98% da velocidade da luz.

Nesse momento, cinco horas na Terra levam uma hora no seu relógio para passar.

Você olha adiante, para as galáxias longínquas.

Estranhamente, todas aquelas bolhas luminosas que pareciam muito remotas há um piscar de olhos agora não parecem estar tão longe. É como se as galáxias lá longe tivessem saltado para mais perto. Cinco vezes mais perto, para ser exato.

Mas isso, certamente, não é possível.

Você olha para seu relógio e seu taquímetro (um instrumento que mede a velocidade, exatamente como num carro). Nesse momento, está voando a 99,995% da velocidade da luz, ou seja, a velocidade que Langevin deu ao foguete espacial de um de seus gêmeos. Ainda não é tão rápido quanto o avião no qual embarcou, mas mesmo a 99,995% da velocidade da luz, os relógios da Terra agora tiquetaqueiam cem vezes mais rapidamente que o seu. Um dia e uma noite inteiros em seu planeta de origem equivalem a apenas um minuto e 26 segundos para você. Um de seus anos equivale a um século ali na casa de sua tia-avó. E aquelas galáxias distantes à frente, aquelas galáxias que deviam estar a milhões de anos-luz de distância, como elas subitamente parecem tão próximas? Certamente, elas não podem estar tão perto após apenas algumas horas de viagem!

Mas estão.

Cem vezes mais próximas.

A distância entre elas e você diminuiu na mesma proporção em que seu tempo desacelerou quando comparado ao da Terra.

Contudo, isso não é de modo algum igual à expansão do universo. Essa expansão ocorre da mesma maneira em qualquer direção que olhe.

Nesse caso, é diferente. Só acontece na direção em que você está viajando.

E depende de *você e somente você*.

Assim, esqueça o universo. Pense apenas em si mesmo e se concentre no que vê.

À sua direita e à sua esquerda, nada parece ter mudado. O mesmo acontece em cima e embaixo, onde galáxias distantes ainda estão quase onde estavam antes de você começar a acelerar. No entanto, as galáxias à sua frente claramente não estão. Encarando-as de novo, há pouca dúvida de que algo suspeito esteja acontecendo: não é apenas o tempo que parece estar sujeito à dilatação, comprimentos e distâncias também... reduziram-se? Contraíram-se?

Com certeza, a impressão é essa. Parece que você está perscrutando o universo inteiro com uma lupa destorcida, que contrai a distância à frente, mas não a de lado.

Você consulta seu relógio.

Um segundo ainda tiquetaqueia a cada segundo. E você continua acelerando e tudo parece ficar ainda mais distorcido. De forma compreensível, você fica confuso e assustado. Então, faz uma curva de 180 graus imensa para voltar para a Terra, que você acha que está muito longe... Mas está bem ali! Virando a cabeça, as galáxias às quais estava se dirigindo há pouco tempo estão agora onde estavam: extremamente longe! Independentemente da direção em que esteja viajando, nessa velocidade incrível, tudo à frente, por mais distante, parece estar a uma distância muito próxima, enquanto as outras direções não mudam...

Alguns minutos depois, ainda confuso, você passa velozmente pela Estação Espacial Internacional, que orbita a Terra numa velocidade completamente insana. Você consulta o tiquetaque de seu relógio: um segundo ainda passa a cada segundo... Passa por uma astronauta cujos movimentos estão acelerados em 100 mil vezes. A mão onde está o relógio de pulso dela gira loucamente. Você vê a diferença entre o tempo dela e o seu! *Vê a vida dela se desenrolar*. Dez horas passam no relógio dela enquanto apenas uma breve fração de um segundo passa no seu... E ela se movimenta de forma correspondente... E a mesma coisa acontece em relação à estação espacial, à Terra e tudo ao redor... E seus foguetes ainda estão a toda potência, impulsionando-o para além da Terra. Cada vez mais rápido. Na direção do infinito e...

Meio segundo de seu tempo passa, e a astronauta agora está de volta à Terra,

e duas piscadelas depois, ela está morta e os filhos dela cresceram e tiveram filhos, e a Terra gira milhares de dias, noites e anos, e você está muito longe agora para ver mais alguma coisa.

Alguns segundos passam para você, que continua acelerando.

Não faz sentido voltar para a Terra agora. Você desembarcaria num futuro tão remoto que provavelmente se sentiria como uma antiguidade e, sem dúvida, seria tratado como tal.

O universo inteiro à sua frente continua parecendo cada vez mais perto e cada vez mais plano.

Lateralmente, tudo continua igual. Apenas à frente, na direção à qual está viajando, ocorre a distorção.

Você ainda está acelerando.

Você está chegando cada vez mais perto da velocidade da luz, mas algo não está certo novamente: embora seus foguetes até aqui o estivessem impelindo alegremente cada vez mais rápido ao longo do espaço e tempo, sua velocidade não aumentou muito ultimamente.

Em vez disso, parece, a energia de seus foguetes está se convertendo em... massa.

Sim, você tem certeza disso. Está ficando mais pesado a cada minuto.

Anos de dieta arruinados pelos foguetes.

Quem teria imaginado?

“Espere!”, você grita, irritado por esse algo mais acima, e tudo se congela.

Você está lá em cima, flutuando em algum lugar, distante no espaço, provavelmente agora a milhões de anos em nosso futuro, mas congelado. Convenientemente, o universo inteiro também está assim. Nada está se movendo.

Por um momento, pode relaxar.

Ótimo.

Consideremos juntos três aspectos que fogem à intuição da viagem em alta velocidade que acabou de fazer.

Em primeiro lugar, o tempo fluiu de modo diferente para você, em comparação com qualquer pessoa na Terra, incluindo a astronauta (cujo tempo é tão próximo do daquele imenso relógio pairando sobre a casa de sua tia-avó que podemos considerá-los idênticos). Os relógios mecânicos reais que vocês dois estavam usando não tiquetaqueiam na mesma velocidade, e, quanto mais

rápido você voava, mais acentuada ficava a diferença. Essa é a primeira mudança. É estranha, concordo, mas existe.

A segunda coisa que experimentou foi que as distâncias se contraíam à sua frente: o que parecia muito longe enquanto você não estava se movendo rápido tornou-se muito perto depois que acelerou. O que também é estranho, concordo. Mas é verdade. Denomina-se *contração do comprimento*.

E a terceira é que, no fim, você ficou cada vez mais pesado. O que é inoportuno, no mínimo, embora talvez não tão inesperado quanto as outras duas coisas, considerando que agora sabe que $E = mc^2$. Assim, consideremos imediatamente esse subproduto específico da viagem rápida.

Nada com alguma massa consegue alcançar a velocidade da luz, e muito menos superar essa velocidade. É uma lei. Assim, quanto mais rápido algo com massa estiver viajando, mais difícil fica acelerar. Para ver o que isso significa na prática, imagine-se voando tão rápido que adicionar apenas um quilômetro por hora ao seu taquímetro significaria alcançar a velocidade da luz.

Então, você tira uma bola de tênis do bolso e a lança à sua frente. Digamos que, em benefício da discussão, a arremessa a vinte quilômetros por hora.

Na Terra, isso seria fácil. Mas nesse momento não é. Na realidade, é impossível. *Nada* é capaz de se mover mais rápido que a luz. Assim, quando você voa a apenas 1 quilômetro por hora menos do que a velocidade da luz, sua bola simplesmente *não é capaz* de avançar vinte quilômetros por hora mais rápido.

Nada o impede de arremessar a bola, é verdade – mas, se a bola não consegue viajar mais rápido do que a velocidade da luz, então, sem dúvida, outra coisa terá de acontecer quando a atira no vazio à sua frente. E a resposta é dada por nossa velha amiga $E = mc^2$: a energia extra que você fornece à bola arremessando-a à frente é convertida em massa, já que não pode se converter em velocidade.²⁶

Você já sabe que a massa pode ser convertida em energia (no interior das estrelas, por exemplo), e aqui tem o exemplo do fenômeno oposto: a energia é convertida em massa. Ou seja, você acabou de aprender, graças à teoria da relatividade especial de Einstein, o motivo pelo qual foi ficando cada vez mais pesado antes de gritar e tudo congelar.

*

Agora, tratemos de dois outros problemas de sua jornada de alta velocidade: a dilatação do tempo e a contração dos comprimentos.

A maioria das pessoas (eu inclusive) fica tanto confusa quanto fascinada quando confrontada com o fato de que não existe tempo universal. Nosso senso comum, aprimorado por milhões de anos de evolução sobre a superfície de nosso minúsculo planeta, rebela-se intuitivamente contra a ideia. No entanto, ainda que possamos perceber seus efeitos sobre nós e ao redor de nós, o tempo é um conceito um tanto abstrato, um fluxo intangível de algo inteiramente invisível. Assim, apesar de sua estranheza, podemos, sem dúvida, lidar com a ideia de ele não ser tão regular quanto foi pensado outrora.

O espaço, por outro lado, é algo com que acreditamos estarmos familiarizados. No entanto, isso é um erro. Não estamos.

Um metro é sempre um metro – certo?

Bem, na verdade, não. Depende de quem está considerando isso.

O espaço e o tempo estão ligados um ao outro: se o tempo muda, a distância também tem de mudar.

Por que tem de ser dessa maneira?

Por que as distâncias e os comprimentos têm de se contrair se o tempo se dilata?

A resposta reside na existência do limite de velocidade absoluto, inquebrável da natureza: a velocidade da luz.

Se as distâncias não se contraíssem, então você teria violado esse limite.

No espaço sideral, a luz viaja a cerca de 300 mil quilômetros por segundo.

Um observador baseado na Terra, observando-o voar a 87% da velocidade da luz, iria vê-lo percorrer 260 mil quilômetros em um de seus segundos.

No entanto, ao voar tão rápido, você deve se lembrar de que os segundos que experimenta são agora diferentes dos dele. Em 87% da velocidade da luz, um segundo seu equivale a *dois* segundos na Terra – e nesses dois segundos, o observador baseado na Terra o observa percorrer 520 mil quilômetros. É duas vezes a distância que ele o observa percorrer em um segundo.

Nada estranho aqui, certo?

Errado. Pois, embora tenha percorrido 520 mil quilômetros em dois dos segundos *dele*, apenas *um* dos seus passou.

São 520 mil quilômetros por segundo, no que diz respeito a você.

Com a velocidade da luz sendo 300 mil quilômetros por segundo, você teria quebrado o recorde universal...

Mas isso é proibido. Não pela polícia, mas pela natureza. Lembre-se: *nada* é capaz de viajar mais rápido do que a luz. No início do século XX, diversas

experiências já tinham estabelecido tanto a ideia quanto o fato de que, no espaço sideral, a luz sempre viaja nessa velocidade (nem maior, nem menor). Newton jamais teria sido capaz de explicar isso com sua visão de mundo. Mas Einstein explicou com a sua.

Em sua teoria de corpos móveis, ou seja, a teoria da relatividade especial, os tempos e as distâncias têm de se dilatar e contrair de maneira que, para quem estiver observando, nenhum objeto seja capaz de superar o limite da velocidade da luz do ponto de vista de alguém.

O tempo do observador baseado na Terra flui duas vezes mais rápido que o seu? Então, a distância que você percorre, do seu ponto de vista, é metade da que o observador o vê percorrer.

Ao voar a 87% da velocidade da luz, você não percorre 520 mil quilômetros por segundo, mas sim 260 mil. Na realidade, o que parece ser um quilômetro para um observador baseado na Terra é metade de um quilômetro para você.

Sua velocidade é sempre a mesma, independentemente de quem a meça, seja você ou outra pessoa.

As velocidades não são dependentes do observador. Somente o tempo e os comprimentos são.

Se, ao voar mais rápido, as galáxias distantes pareciam mais próximas de você, é porque elas *ficaram* mais próximas. De verdade. E isso não se aplica somente a distâncias: os próprios objetos também se contraem com a velocidade. Como visto por alguém que não se move junto, qualquer foguete e todos os seus passageiros se contrairiam. Inclusive *você*. A 87% da velocidade da luz, voando como o Super-Homem, com os punhos estendidos à frente, você encolhe para metade de seu comprimento, como medido por alguém na Terra. E alguém voando com você não teria notado isso, pois a fita métrica dele também teria encolhido...

E tudo isso é consequência de aceitar uma velocidade da luz fixa, finita e imbatível.

Tudo isso é o que Einstein resumiu em sua teoria da relatividade especial de 1905: uma teoria que fornece as regras da natureza para alguém que se importa em viajar em velocidades (extraordinariamente) altas.

Estranho? Sim.

Foge à intuição? Com certeza.

No entanto, é como a natureza funciona.

Agora, o que dizer da gravidade? Intencionalmente, nós nos esquecemos dela

por um tempo. Mas, se quisermos ter uma visão realista de nosso universo, precisamos agora trazê-la de volta. Daqui a pouco, portanto, você continuará sua jornada vertiginosa pelo universo, cujo tecido – o espaço-tempo – interage com seus conteúdos energéticos e se curva ao redor deles, criando a gravidade.

De volta a você.

Você está no espaço sideral. Tudo ainda está congelado.

A Terra está em algum lugar muito atrás. A astronauta que viu morreu e foi enterrada há muito tempo. Você estava voando em alta velocidade em direção a galáxias distantes, que agora parecem muito mais próximas.

Apenas se lembre de que o tempo e espaço são agora partes inseparáveis do espaço-tempo – o tecido de nosso universo – e que a gravidade é o efeito da curvatura desse tecido pela energia contida nele, independentemente de sua forma, e que a massa é energia.

Você foi ficando cada vez mais pesado depois que sua jornada se congelou.

Descongelemos o quadro.

Pronto?

Você voltou a voar.

Seu corpo está se movendo a uma velocidade extraordinária, e seus propulsores ainda o estão arremessando poderosamente para a frente. Você está ficando cada vez mais pesado e assim, desde que a gravidade está de volta ao cenário, sua crescente massa está curvando cada vez mais o espaço-tempo ao seu redor.

Agora, a massa de uma pequena montanha está contida dentro de seu corpo.²⁷

As rochas que sobrevoa estão começando a escorregar pelo declive que você mesmo cria e, em pouco tempo, elas até começam a cair sobre você.

Elas machucam quando o atingem, mas, como você está ficando cada vez mais pesado sem crescer em volume, está mais denso do que antes; assim, as rochas se despedaçam em pedaços muito pequenos.

Coletando cada vez mais energia, você se torna tão pesado quanto a Terra.

Você capturou grandes rochas e até pequenos planetas em seu rastro. Agora, eles estão em órbita ao seu redor.

Está tão pesado, as curvas que você cria no espaço-tempo ao redor de seu corpo tornam-se tão acentuadas, que o universo que vê se torna distorcido em todas as direções. Não só à frente. E isso não se deve mais à velocidade, mas sim à gravidade, à curvatura do espaço-tempo, à energia que você reuniu em

seu interior. Por causa dessa energia, o espaço e o tempo, entrelaçados como estão dentro do tecido de nosso universo, estão tão curvados que, para onde quer que você olhe, o universo parece distorcido, e acelerado, como se o seu tempo estivesse agora mais lento que qualquer outro relógio do universo.

Você tem a massa de cinco Terras, aproximadamente, toda concentrada no interior de seu corpo. Está tendo muita dificuldade de erguer as mãos, evidentemente, e, na realidade, agora não é capaz de se mover de nenhuma maneira...

Para ser honesto, se eu fosse você, pararia por aqui.

Por quê?

Porque mais cedo ou mais tarde, acumulando cada vez mais energia dentro de seu corpo, você acabará virando um buraco negro.

E isso não é uma boa ideia.

Infelizmente, você já está muito pesado para se mover. Assim, nem consegue verificar se algum interruptor oculto pode desligar seus foguetes.

Agora, suas mãos estão grudadas em seus quadris, e você está, de fato, começando a colapsar em si mesmo e...

“Pare!”, você grita, em pânico, e se vê de volta em seu avião, ao lado de sua janela.

Seu vizinho estranho está olhando para você.

A expressão dele denota que você o acordou.

Definitivamente, ele é estranho, mas, nesse momento, você provavelmente parece ainda mais esquisito.

Você murmura um inaudível pedido de desculpas e se vira em direção à janela para olhar para fora.

Está amanhecendo.

Nenhum sinal de um pouso imediato numa cidade futurista.

Nenhum sinal de galáxias distantes estando mais próximas do que deveriam estar.

Nenhum pequeno planeta em órbita ao seu redor.

Você está simplesmente voando.

Consulta seu relógio.

Parece que está no ar há oito horas.

“Posso perguntar por que gritou?”, pergunta seu vizinho estranho.

“Onde estamos? Em que ano estamos?”, pergunta você, em sequência, com os olhos arregalados.

“Desculpe...”

“Em que ano estamos?”, insiste, um tanto nervoso.

“Em 2016!”, responde o homem, achando divertido.

*

Quando a aeromoça anuncia que o avião está prestes a começar sua descida, você se dá conta de que simplesmente sonhou com tudo aquilo, que não voou para o futuro, que ainda está aqui, no caminho para sua adorável, antiga e normal cidade natal, com suas estradas de concreto e prédios com paredes de tijolos.

A temperatura ambiente é de 12°C, continua informando a aeromoça, e a névoa matinal começará a se desfazer ao meio-dia...

2016.

Que alívio.

Mas que sonho estranho.

²⁶ Para ser mais preciso, no caso de algumas velocidades excepcionais, a equação necessita de algumas correções (apontadas pelo próprio Einstein), mas a ideia é basicamente a mesma.

²⁷ Pode não alcançar a massa de uma montanha, mas isso é exatamente o que acontece com as partículas aceleradas nos aceleradores de partículas espalhados pelo mundo: em vez de alcançarem a velocidade da luz, elas ganham massa.

Capítulo 4

Como nunca envelhecer

Contudo, o que você acabou de experimentar não foi um simples voo da imaginação.

Na realidade, teve um vislumbre de como seria o universo se você fosse capaz de se mover muito, muito rápido. Os cientistas batizaram as velocidades além das quais efeitos estranhos que experimentou não podem mais ser ignorados de *velocidades relativísticas*, e tudo com que acabou de sonhar obedeceu às leis da natureza, como são entendidas hoje, de uma perspectiva relativística.

Nenhum ser humano jamais alcançou essas velocidades, é claro, mas as partículas que nos cercam alcançaram. De fato, elas fazem isso o tempo todo. Mas, remontando a 1905, quando Einstein propôs essas ideias incríveis, era difícil verificar como elas se comportavam.

Na realidade, foram necessários 66 anos após a publicação da teoria da relatividade especial para que dois cientistas norte-americanos, Joseph Hafele e Richard Keating, criassem uma experiência capaz de detectar os efeitos estranhos da dilatação do tempo que Einstein havia previsto.

Estamos em 1971.

Hafele e Keating tinham adquirido três relógios atômicos; os melhores relógios já fabricados. Depois de sincronizados uns com os outros, mantinham-se sincronizados num nível extraordinário de precisão: não mudam mais do que um bilionésimo de segundo ao longo de milhões de anos. De fato, relógios muito, muito confiáveis.

Assim, Hafele e Keating tinham três deles. Sincronizados.

E eles os levaram para um aeroporto.

Mantiveram um em terra, no saguão do aeroporto, e, literalmente, reservaram

um assento para cada um dos outros dois, em dois aviões comerciais.

Sorrio só imaginando a reação dos outros passageiros...

Seja como for, os dois aviões decolaram. Um voou para o leste, enquanto o outro, para o oeste, ao redor da Terra, antes de aterrissarem de volta no aeroporto de partida, com os dois relógios a bordo se juntando ao sincronizado alter ego terrestre. Embora a Terra gire em torno de si, no sentido leste, voar para leste ou oeste faz pouca diferença para as velocidades relativas gerais dos aviões e do aeroporto.

Agora, se a natureza se comporta da maneira que nossa intuição acredita que ela se comporta, os três relógios atômicos deverão se manter sincronizados, independentemente do que os aviões façam. Um segundo é um segundo para o relógio universal que Deus mantém em seu criado-mudo; assim, um segundo deve tiquetaquear a cada segundo. Todos os relógios que você já viu ou usou, mecânico ou não, certamente concordam com isso. E basta. Exceto... não, não basta. A natureza não se importa muito com as coisas nas quais nossa intuição acredita, e acontece que essa intuição está errada. Nossos relógios normais não são precisos o bastante para nos dizer isso. Nossa intuição pode estar errada; a de Einstein não estava.

Depois que os dois aviões pousaram no aeroporto de origem, Hafele e Keating constataram que seus três relógios atômicos não estavam mais sincronizados.

O relógio do avião que voou para o leste estava 59 bilionésimos de segundo atrasado, em comparação com o que ficou no aeroporto. O relógio que voou para o oeste estava 273 bilionésimos de segundo à frente.

Seriam necessários mais de 300 milhões de anos para essa divergência acontecer naturalmente, se os três relógios tivessem ficado perto uns dos outros.

*

De acordo com Hafele e Keating, havia dois motivos para tal divergência.

O primeiro se relaciona com as velocidades envolvidas, na relatividade especial: como Einstein supôs, as velocidades relativas dos três relógios deveriam gerar alguns ínfimos – mas mensuráveis – efeitos de dilatação do tempo.

O outro motivo, porém, não tem nada a ver com velocidades, mas sim com a gravidade, com a teoria da relatividade geral de Einstein: da mesma forma que uma bola pesada rolando sobre um lençol de borracha curva a borracha mais

próxima do que a mais distante, o efeito da Terra sobre o espaço-tempo, afirmou Einstein, deve ser mais acentuado perto de sua superfície do que mais longe, no céu, onde os aviões voam, e, conseqüentemente, afetará a maneira que o tempo flui em diversas altitudes.

Esses dois efeitos, independentes entre si, foram calculados *antes* da realização da experiência de Hafele e Keating.

E o cálculo bateu.

Em suma, as teorias de Einstein previram que, em comparação com o relógio terrestre, o relógio voando para leste deveria acabar com um atraso de 60 bilionésimos de segundo, enquanto o voando para oeste deveria ficar cerca de 275 bilionésimos adiantado.

A experiência demonstrou que Einstein tinha razão.

Você pode não achar isso muito impressionante, pois as diferenças de tempo acima parecem muito pequenas. E são. Contudo, lembre-se de que um avião não voa tão rápido, e a Terra não é um objeto cósmico tão grande. Voe mais rápido e/ou chegue perto de um objeto com uma gravidade muito mais poderosa, e a diferença de tempo pode ficar enorme, como você experimentou no avião voando perto da velocidade da luz em seu sonho.

Obviamente, a precisão da experiência de Hafele e Keating foi aprimorada desde 1971, confirmando seu resultado com crescentes níveis de exatidão. De fato, o espaço-tempo significa o que significa: é uma mistura de espaço e tempo.

No interior de nosso universo, a velocidade do tiquetaque do relógio depende de quem está olhando para ela: depende de onde você está, do que está perto de você (essa é a parte da gravidade) e de sua velocidade. No início do século XX, isso era muito abstrato. Atualmente, é um fato experimental. Todos nós temos de aceitar isso.

Nesse nosso universo, o tempo e as distâncias não são conceitos universais. Dependem do observador, de quem os está experimentando e de quem está olhando para eles. Tempo e distância são relativos. Caso contrário, a velocidade da luz não seria fixa nem limitada.

Agora, o que a humanidade fez com esse conhecimento? Mudou nossa vida diária? A parte estritamente relacionada com a velocidade mudou, sim, e muito. Não só nossa tecnologia muitas vezes faz uso de partículas velozes para transmitir informações, em todas as maneiras de transmissões, mas também a relatividade especial nos ajudou a entender como toda a matéria da qual somos

feitos funciona. Como logo verá, os elétrons no interior dos átomos, que constituem seu corpo – e quase tudo o mais no mundo do muito pequeno –, movem-se muito rápido de fato.

Com referência à gravidade e ao espaço-tempo, porém, por mais incrível que pareça, somente um aparelho de consumo massivo foi até agora produzido, fazendo uso desse relacionamento: o GPS. Qualquer hora que verifica sua posição com um GPS, seja no smartphone ou no carro, você utiliza o fato de que o espaço e o tempo são curvos ao redor da Terra. Quanto mais perto estiver da superfície, mais íngreme a curva, não só no espaço, mas também no tempo.

Há relógios lá em cima, no interior dos satélites que se comunicam com seu GPS para localizá-lo. Se nenhuma correção fosse feita para levar em conta a diferença do tiquetaque do tempo entre o solo e o satélite, sua posição seria apresentada incorretamente. Desviaria cerca de dez quilômetros por dia e o GPS seria inútil. Graças às teorias da relatividade especial e geral de Einstein, o GPS funciona.

Tudo bem. Eis como é. Não existe essa coisa de relógio que tiquetaqueia do mesmo jeito em todo o universo.

*

Agora, a 99,999999999% da velocidade da luz, o avião de seu sonho viajou incrivelmente rápido pelo espaço, em comparação com a Terra e todos os seus habitantes, você pousou em 2416 e pode se considerar alguém de sorte.

Se voasse ainda mais rápido, teria chegado ainda mais longe no futuro.

No entanto, há um limite, pois nada pode viajar mais rápido do que a luz.

Viajar tão rápido quanto a luz talvez seja possível algum dia, mas você precisará fazer um imenso sacrifício: terá de se livrar de sua massa. Toda. A luz não carrega nenhuma massa, e por isso viaja tão rápido. A luz viaja com pouca bagagem.

“Qual é o problema com a matéria?”, você pode querer saber, com razão.

Já experimentou isso em si mesmo: tudo o que é pesado torna-se mais pesado quando acelerado demais. Para alcançar a velocidade da luz, alguém, portanto, não deve ter massa, para começo de conversa.

No entanto, o que aconteceria se você fosse capaz de se transformar em um ser desprovido de massa? Como, então, seu tempo fluiria? Por mais chocante que possa parecer, a resposta é que ele não fluiria. O tiquetaque de qualquer

relógio que tivesse (também convertido em algo desprovido de massa) simplesmente pararia.

Na velocidade da luz, o tempo congela.

Completamente.

E esse é o motivo pelo qual a luz que viajou através do universo para nos alcançar hoje é exatamente a mesma que era quando foi emitida. Ao contrário da foto que, após 13,8 bilhões de anos, estaria desgastada e rasgada pela viagem e não se assemelharia àquilo que era outrora, as imagens que são carregadas pela luz através do cosmos não são afetadas pela passagem do tempo. Quando coletamos a luz que se originou dos lugares mais distantes de nosso universo visível, obtemos imagens do universo que remontam àqueles tempos.²⁸

*

Agora, sendo composto de massa, você não tem escolha, exceto ficar sujeito à passagem do tempo. Não há nada que se possa fazer a esse respeito. Para ser eterno, precisaria se transformar em luz, o que não é possível. No entanto, se conseguisse, seu tempo não fluiria mais. De fato, você seria eterno, mas alheio a isso.

Contudo, apesar da impossibilidade de ser eterno, você pode, ainda que seja pesado (não leve a mal, sério!), ser capaz de alcançar um futuro inalcançável para seus vizinhos. Para isso, só tem de viajar rápido, como seu avião. Ou se estabelecer num planeta com uma gravidade muito mais poderosa que a da Terra.

Em resumo, sei que uma parte de você, por um motivo ou outro, não gosta da ideia de envelhecer e gostaria muito de permanecer jovem o máximo possível, ou, ao menos, muito mais tempo do que o seu vizinho. Bem, para leitores especiais, dirijo agora a seguinte advertência: não faz sentido tentar correr mais rápido, tornar-se um piloto de Fórmula 1 ou mesmo um piloto de teste da Força Aérea. Nem mesmo faz sentido tentar embarcar num avião para voar a 99,999999999% da velocidade da luz.

Por quê?

Porque *seu* relógio jamais mudará de *seu* ponto de vista.

Aos seus olhos, e em termos das células que compõem seu corpo, um segundo será sempre e para sempre um segundo; um dia, um dia; um ano, um

ano, e assim por diante. Seu tempo pessoal e seu envelhecimento não perderão velocidade, você não vai viver mais tempo, suas células se desenvolverão e decairão no mesmo ritmo, e o mesmo acontecerá com todos que estão viajando com você. Viajar muito rápido ou viver num planeta distante mais denso não fará você viver mais tempo, pois, para você, 24 horas continuarão parecendo (e serão) 24 horas. No entanto, *outras* pessoas podem vê-lo viver mais do que elas.

Avançar seu presente para alcançar com rapidez o futuro de outra pessoa é teoricamente possível (e também até pode ser posto em prática algum dia),²⁹ mas viver mais tempo viajando muito rápido não é.

*

Por meio das teorias da relatividade especial e geral de Einstein, você descobriu que um mundo realmente estranho cerca o mundo a que temos acesso mediante nossos sentidos, o mundo em que vivemos nossa vida diária. No entanto, o que viu até agora não é nem de perto tão estranho quanto o que está prestes a experimentar uma vez de volta, e a salvo, a sua casa.

Após o mundo do muito grande e do muito rápido, chegou a hora de ingressar no mundo do muito pequeno.

E receio que, se não acreditou em mágica antes, talvez tenha de começar a acreditar agora.

²⁸ No entanto, correções devido ao desvio para o vermelho induzido pela expansão de nosso universo devem ser levadas em consideração. As imagens que recebemos do cosmos foram estendidas pela expansão do universo, mas não envelheceram.

²⁹ Mas voltar no tempo não é. Assim, se você tiver a chance, pense duas vezes antes de partir nessa viagem.

PARTE IV

Um mergulho no mundo quântico

Capítulo 1

Um pedaço de ouro e um ímã

Sua tia-avó foi embora. Você pediu a ela que ficasse mais alguns dias, só para ter alguém com quem discutir seu estranho sonho relativístico, mas – um tanto inesperadamente – ela declinou da oferta. Considerando todas as coisas, ela achou que você estava são e salvo, sentiu que tinha feito a parte dela trazendo-o de volta para casa e embarcou no primeiro voo para Sydney, deixando aos seus cuidados toda a coleção de vasos de cristal que ela tinha trazido para alegrá-lo. Nesse momento, ela está de volta à Austrália, e você está de volta a sua casa. Em seu sofá. Olhando para os vasos horríveis dela e, ao mesmo tempo, brincando com um pequeno ímã em forma de palmeira que comprou numa loja de suvenires, para lembrá-lo de sua ilha tropical.

Você ainda tem uma semana antes de voltar para o trabalho; sete dias para achar maneiras de conseguir se livrar de todos aqueles vasos, mas hesita.

Suas aventuras na natureza oculta da realidade terminaram? Ou ainda há outro nível de entendimento por vir?

Não encontrando nenhuma resposta objetiva, fica de pé e decide preparar uma bebida quente.

Perambulando pela cozinha enquanto prepara o café, de repente, percebe um tijolo que, de maneira curiosa, projeta-se um pouco para fora da parede. Surpreso, você o puxa, e ele desliza para fora. Para seu espanto, atrás dele há uma barra de ouro, provavelmente escondida ali por algum ex-morador (realmente um tanto negligente). Tem metade do tamanho da palma de sua mão e, portanto, vale uma pequena fortuna. Como não percebeu o tijolo antes é um mistério, mas, é possível que não exista melhor retorno a casa do que quando você encontra ouro em sua cozinha. Assim, não pensa muito a respeito do tijolo. Você se serve de café e observa seu tesouro com um sorriso astucioso.

Você viajou pelo cosmos, o domínio do muito grande.

Viajou muito rápido, tão rápido quanto é possível viajar.

No entanto, não tem um indício a respeito do mundo do muito pequeno: do que a matéria é realmente *feita*. O ouro é feito de tijolinhos?

Por que os materiais que o cercam são tão diferentes uns dos outros? Por que o ouro é diferente do queijo? Por que não somos líquidos em temperatura ambiente como a água?

Com um sorriso largo, decidindo pôr a ciência antes do dinheiro, você corta a barra de ouro em duas partes iguais, para ver o que tem dentro.

Ao contrário de alguns queijos (mas não todos), a parte interna da barra de ouro tem a mesma cor, a mesma ausência de cheiro, o mesmo tudo de suas superfícies externas. Não obstante, você corta uma das metades em duas de novo, e de novo, e de novo, procurando freneticamente alguma mudança conforme obtém pedaços cada vez menores.

Parece ser ouro até o fim.

Alguém pode pensar que esse ato de cortar pode continuar para sempre, mas não, não pode. Após 26 ou 27 divisões em duas partes iguais, você fica com a menor peça de ouro que existe: corte-a mais uma vez e ainda obtém algo, mas não é mais ouro.

Essa quantidade elementar de ouro, a menor coisa que ainda é ouro, é o que cientistas denominam um *átomo* de ouro.

Note que, embora possa parecer que não seja muita coisa dividir em duas partes iguais alguma coisa 26 vezes, é muito. Você acharia bastante difícil fazer isso em casa. Para lhe dar uma ideia, se fizesse isso em ordem inversa, por exemplo, arrancando uma página deste livro e a dobrando para duplicar sua espessura 26 vezes, obteria uma pilha com cerca de 14 quilômetros de altura. Outra maneira de expressar isso, é dizer que você precisaria de uma montanha 50% mais alta que o monte Everest se, dividindo-a em duas partes iguais 26 vezes, quisesse acabar com alguma coisa tão fina quanto a página deste livro.

Apenas as melhores tecnologias modernas são capazes de observar um átomo de ouro individual.³⁰

E o que dizer do chumbo, da prata ou do carbono?

Qualquer outro material puro que encontrasse, em vez de ouro, iria levá-lo à mesma conclusão: divida em dois uma peça desse material, que caiba na palma de sua mão, repetidas vezes, 26 vezes, e você acaba com um átomo, algo que não pode mais ser quebrado sem se tornar algo diferente do material com que começou. Queijo, por outro lado, não é um material puro. No entanto, também é feito de átomos; átomos que estão ligados uns aos outros. Toda a matéria que

conhecemos de nosso universo é feita de átomos.

Então, os próprios átomos são feitos do quê?

Ainda não podemos dizer, mas você tem um palpite de que eles estão cheios de constituintes menores, e que esses pedaços microscópicos são os mesmos em todos os átomos do universo. Em breve, você viajará pelo interior do mundo deles, mas já posso antecipar que, pelo fato de a quantidade desses constituintes menores diferirem de um átomo para outro, os materiais puros apresentam tanto propriedades muito diferentes, quanto preços bastante distintos, como todos sabem. Qualquer corretor certamente duvidaria de sua sanidade se você tentasse trocar um quilo de mercúrio (que vale cerca de 23 libras esterlinas) por um de ouro (cerca de 26 mil libras esterlinas) ou plutônio (cerca de 2,6 milhões de libras esterlinas, dependendo do mercado), com base que todos são feitos de átomos estruturados da mesma forma.

Assim, o que são esses átomos? O que dá aos materiais feitos com eles essas propriedades e esses formatos tão diferentes? E por que podemos cortar a manteiga com uma faca, mas não um diamante, se tudo é feito da mesma matéria?

Com todas essas perguntas fervilhando em sua cabeça, você se aproxima da geladeira para buscar um pouco de leite para seu café e segura descuidadamente o ímã em forma de palmeira para pregá-lo na porta, mas, quando ele salta de seus dedos e se fixa direto na superfície metálica, fica paralisado de assombro.

Até agora, essa ação, para um ímã, era bastante familiar.

Mas não é mais.

Como os ímãs fazem isso?

Como a geladeira sabe que o ímã está chegando? Ou como o ímã sabe que a geladeira está ali? Ou as duas coisas? Ou é magia pura?

Você nunca viu algo ser trocado entre um ímã e uma geladeira. Nada de mão fantasmagórica se estendendo de um para agarrar o outro e puxá-lo contra sua superfície.

No entanto, talvez não tenha observado com atenção o bastante.

Você tira o ímã da porta da geladeira e contempla sua superfície, na parte posterior da palmeira. Até onde sabe, a superfície escura é plana.

Concentrado, agora segurando o ímã muito firmemente entre seu polegar e seu indicador, pressiona o rosto na porta da geladeira, observando com atenção, e traz de novo o ímã para mais perto da porta.

Ele está a alguns centímetros de distância.

Você sente alguma coisa.

Uma força.

Uma força de atração está puxando o ímã na direção da geladeira. Ou a geladeira na direção do ímã. Ou ambas. Difícil dizer.

Contudo, no ar, nada acontece. Com certeza. Você não consegue perceber o mais leve indício de algum acontecimento que possa explicar como eles estão cientes da presença um do outro.

Nesse momento, o ímã está a cerca de meio centímetro da geladeira e a força de atração fica cada vez maior.

Você tem até dificuldade de manter o ímã onde ele está.

E ainda nada visível.

Você entrega os pontos. Então, o ímã salta de seus dedos em direção à porta, aderindo e se acomodando alegremente nela, enquanto você fica curioso e intrigado.

Durante séculos, inúmeros homens e mulheres se espantaram acerca dessa estranha atração. É fantasmagórica, não é? O ímã saltou. Nada aconteceu *antes* de ele tocar na geladeira, e, no entanto, havia uma força. É o que os nossos antepassados achavam, quando observavam os ímãs, ainda que não tivessem geladeiras. Eles começaram a falar a respeito de uma *ação à distância* fantasmagórica, para descrever o algo invisível que faz o ímã funcionar.

De fato, é um pouco como a gravidade.

Ninguém é capaz de *ver* a gravidade.

Quanto Newton propôs sua incrível fórmula para descrever como os objetos, em todo o universo, são atraídos na direção uns dos outros, ele não tinha indício do *que* era responsável pela força gravitacional que estava descrevendo. Contudo, cerca de um século atrás, Einstein descobriu. A gravidade não é uma força, ele nos disse, mas uma queda. Uma queda em curvas do espaço-tempo.

Ocorre o mesmo com os ímãs? Os ímãs também criam curvas íngremes no espaço-tempo?

Não. Não pode ser isso. Ou tudo (madeira, nós mesmos, cerveja, qualquer coisa) cairia na direção deles, não apenas pregos, limalhas e outros possíveis ímãs. Você nunca sentiu seus próprios dedos sendo atraídos por um ímã. Não, outra coisa precisa ser encontrada. E outra coisa foi encontrada. Há cerca de oitenta anos. Envolve o que denominamos *campo*. Um campo quântico, para ser exato. E agora que sabe acerca da existência de átomos e ímãs, você está

prestes a ver a maravilha que é um campo quântico.

30 E você tomará conhecimento de uma dessas tecnologias em dois capítulos.

Capítulo 2

Feito um peixe no mar

Por um instante, imagine que você é um peixe, e que, por algum motivo, decidiu ver o que existe acima do oceano, que é o seu lar. Das profundezas, nadando o mais rápido possível, arremete para cima, como um torpedo. Está visando aquilo que os seres humanos denominam superfície, mas que você, um peixe, provavelmente chama de teto.

Você nada rápido. Então, mais rápido. A água desliza por suas escamas. A luz à volta fica cada vez mais brilhante à medida que você chega mais perto do fim de seu mundo líquido. Logo em seguida, está fora. Não há mais água ao seu redor. Você está voando por um vazio azul (nós, seres humanos, chamamos isso de atmosfera). Move sua barbatanas com o máximo de força, mas de nenhuma maneira consegue nadar mais alto. Ao contrário de um pássaro, e de fato bem feito como um peixe, sua viagem para o alto chega a um fim abrupto. Escorregando, deslizando pelo declive do espaço-tempo criado pela presença da Terra, você se estatela de volta no oceano.

Algum tempo depois, de volta às profundezas salgadas de seu lar líquido, discute sua experiência com alguns peixes amigos, que compartilham um gosto semelhante pelo desconhecido. Imediatamente, concorda que lá em cima, além do teto de seu imenso mundo líquido, é impossível nadar. Acima do oceano, você conclui, há somente o vazio azul.

Nós, seres humanos, sabemos das coisas. Sabemos que existe ar acima do oceano, e sabemos agora que aquilo que denominamos ar está longe de ser nada. Privado dele por mais do que alguns minutos, morreremos.

A maioria de nós, porém, não é muito mais sábio que o peixe sob o mar: não temos todos os tipos de pensamento de que, no espaço sideral, acima da atmosfera, além de nosso precioso ar, não há nada? Não acreditamos que o espaço é apenas um vazio negro?

Como você está prestes a ver ao longo do restante deste livro, isso é um erro. O espaço sideral está longe de estar vazio.

Quando, como peixe, você saltou brevemente acima da superfície do oceano, ingressou em outro mundo, um mundo predominantemente feito de gás e poeira, e não de líquido.

Agora, o mundo no qual está prestes a ingressar é muito mais abundante do que isso. É denominando mundo *quântico*; é o mundo da matéria fundamental e da luz.

Ao contrário do oceano, que é feito de água e termina onde o ar começa, o mundo quântico está por toda parte. No mar, na terra, na matéria da qual somos feitos, na luz e no espaço sideral. Mesmo no espaço “vazio”. Para ingressar em seu domínio, porém, a humanidade precisou de milênios. As portas do mundo quântico estão enterradas profundamente no interior do muito pequeno. E como o ar, a gravidade e muitas outras coisas podem bagunçar o quadro, estamos prestes a nos esquecermos delas por um momento.

E a melhor maneira de fazer isso é enviá-lo de volta ao espaço sideral.

Quando tira o ímã da porta da geladeira para verificar sua superfície de novo, você não vê mudança visível ali. Ainda negro. Ainda liso. E, no entanto, sente a força. Nenhuma dúvida a esse respeito. Que estranho.

Pressiona seu rosto contra a geladeira mais uma vez para novamente fazer a experiência. Está tão concentrado nisso que tudo, exceto o ímã e a geladeira, some ao redor. O piso, o ar, seu pedaço de ouro, as paredes, toda sua cozinha e seu apartamento. Sumiram. Sua cidade. Sumiu. E o mesmo acontece em relação à Terra, à Lua e a tudo o mais.

Você está flutuando no espaço sideral, num mundo de pensamentos que obedecem às leis da natureza como são conhecidas hoje. Não existe ar ao seu redor. Tampouco há gravidade. Não há nada, de fato, exceto você, o ímã, a geladeira e seja o que for que faz os ímãs e as geladeiras interagirem.

A esta altura, você deve estar acostumado com esse tipo de situação. Assim, não se preocupa muito a respeito disso e se concentra na tarefa à mão.

Seu rosto está frio junto à porta da geladeira. O ímã ainda está em sua mão. Você o solta, e, no momento em que ele parte, um novo tipo de aventura começa: você começa a encolher. Em suas jornadas pelo espaço-tempo, você considerou o universo de uma perspectiva bastante ampla, para entender o muito grande; em seguida, teve de enxergar o mundo do ponto de vista da velocidade extrema e, assim, viajou de maneira extremamente rápida. Agora,

está no caminho de descobrir o mundo quântico e, então, você encolhe.

Muito.

Você está se tornando um minivocê. Um minivocê que tem a altura de dois átomos.

Quão pequeno é isso?

Vejamos.

Enquanto está lendo isso, seu livro, ou sua tela, está provavelmente a apenas alguns palmos de distância de seus olhos. Dessa distância, a menor coisa que sua visão consegue perceber é uma espessura de cerca de um vigésimo de milímetro; ou seja, um terço da largura de um cabelo humano.

Nesse momento, seu minivocê encolheu a um tamanho 100 mil vezes menor do que isso. Aproximadamente a escala correta para ver se há algo acontecendo entre seu ímã e sua geladeira.

Concentrado, embora um pouco surpreso com o encolhimento, olha ao redor em busca de mãos fantasmagóricas estendendo-se de uma direção ou de outra. Vira sua minicabeça para a direita e para a esquerda e para cima e para baixo.

Não vê nada.

Sabe que o ímã está em algum lugar à sua direita e que a geladeira está em algum lugar à sua esquerda, mas, de sua nova perspectiva, eles estão muito longe para serem vistos.

Assim, você espera.

E nada está acontecendo.

Absolutamente nada.

Após um momento bastante longo de pura solidão, você decide tentar outra coisa: em vez de ver, *sentir* pode dar conta do recado. Como quando era criança e, para matar o tempo, fingia que tinha superpoderes.

Inspira e expira algumas vezes, em busca de concentração, e, então, desativa sua visão. Você é como um minúsculo iogue no espaço. Menor que poeira. Com os olhos fechados, lentamente estende seus braços como viu as pessoas fazerem nos filmes.

Inicialmente, não sente nada. E então, sente.

Você tem a impressão de ser um peixe no mar, como se tudo ao redor estivesse banhado de algum tipo de... de quê? Não de água, evidentemente... Você abre seus minúsculos olhos, ansioso para ver do que o mar é feito, mas a sensação imediatamente desaparece e, mais uma vez, não há nada ao redor. De fato, a impressão é muito estranha. Até um pouco assustadora, mas você não é

medroso e logo pondera que, exatamente como muitas outras coisas em nosso universo, o que acabou de sentir é real, mas invisível ao olho.

Então, você volta a fechar os olhos, ao estilo iogue, para ingressar no mundo quântico.

O “mar” está ali, todo à sua volta. Há até... correntes? Sim. Parece que sim. Originando-se onde o ímã deve estar e acabando na geladeira. Há espirais de força ao redor, e elas fluem direto através de seu corpo, e você se dá conta de que está sentindo aquilo que faz os ímãs e as geladeiras interagirem; é o assim chamado *campo de força eletromagnética*. Atrás de seus miniolhos fechados, ele surge como uma névoa de força que se espalha ao redor, por toda parte, uma névoa que é mais densa perto do ímã e perto da geladeira. Ondulações estão se propagando através dela, à velocidade da luz, dizendo-lhe que o ímã e a geladeira estão se aproximando um do outro, significando que eles, mais cedo ou mais tarde, atingirão um ao outro, significando que... Você abre os olhos e contempla com espanto e horror o imenso ímã preto que está prestes a esmagá-lo.

Você recua, tremendo de medo.

Agora, está tão perto do ímã que quase consegue ver os átomos oscilando em sua superfície. Até parece haver correntes minúsculas fluindo no interior deles. Eles são feitos de quê? São elétricos? São magnéticos? Ambos? Você não faz ideia, mas o que é certo é que... ESPERE! O QUE FOI ISSO?

Algo aconteceu.

Você viu.

Não foi um braço estendendo-se do ímã em direção à geladeira, mas alguma luz. Virtual ou real, é difícil dizer, mas era luz. Surgiu do nada, direto na frente de seus miniolhos, na parte superior da superfície do ímã. Ou foi de seu interior? Você vira a cabeça para onde foi a luz e vê a porta da geladeira, imensa, também se movendo em sua direção.

Você prende a respiração.

Está a um instante de ser esmagado.

Cada vez mais pérolas de luz estranhas aparecem do interior do vazio que parecia separar o ímã e a geladeira um momento atrás; um vazio que definitivamente não parece mais vazio. Pérolas de luz lampejam ao redor, trocadas entre o ímã e a geladeira, como um grupo de anjos minúsculos arrastando os dois objetos na direção um do outro.

Hipnotizado pelo espetáculo, certo de que seu minicorpo está vivendo os últimos momentos, você se pergunta se essas partículas de luz são produtos de

sua imaginação ou se são reais... Elas parecem virtuais, pois duram apenas um instante e aparecem do nada, mas também apresentam um efeito muito concreto sobre o ímã... Sim, essas pequenas companheiras brilhantes carregam a força que traz o ímã para perto da geladeira em sua casa...

Você fecha seus miniolhos.

Você está prestes a ser esmagado.

Mas...

Você está de volta a sua cozinha, encarando com um olhar vazio a porta da geladeira, na qual o ímã acabou de aderir com um som levemente metálico.

*

Enxugando um gota de suor frio escorrendo em sua testa, você respira fundo, um pouco constrangido – ainda que esteja sozinho – de ter pensado que era tudo, menos sua imaginação.

No entanto, pareceu muito real.

Você acabou de testemunhar uma *ação à distância*, que não se deve à magia, embora eu admita ser um tanto fantasmagórica. Viu, com toda a certeza, que a força misteriosa que faz os dois ímãs interagirem – a força eletromagnética – foi transportada por partículas de luz virtuais; partículas tão estranhas que existem somente para um propósito: transportar a força eletromagnética. Essas partículas aparecem no meio do ímã e da geladeira, de dentro do que parecia ser coisa nenhuma. Você acabou de descobrir que entre qualquer par de objetos no universo inteiro, quer ímãs ou não, existe alguma coisa, algo que é denominando campo eletromagnético. Um mar de força em que partículas de luz virtuais podem surgir a qualquer momento.

Nesse instante, ao contemplar sua geladeira, inúmeras dessas pequenas pérolas de luz virtuais são trocadas entre o ímã e a porta, mas você não pode mais vê-las e nunca poderá. Eis por que elas são chamadas de virtuais. Elas surgem de um vazio que não é um vazio, e desaparecem sem deixar ninguém vê-las.

Essas partículas mensageiras virtuais estão em toda parte ao seu redor, neste exato momento, e até dentro de você.

Elas todas pertencem ao campo eletromagnético; uma névoa invisível que preenche não só o espaço entre geladeiras e ímãs, mas também o universo inteiro.

E quanto aos ímãs que se repelem mutuamente? Com certeza, já viu isso, não?

Como logo vai perceber ao viajar através de um átomo, as pérolas de luz virtuais às quais você acabou de ser apresentado podem atrair, repelir ou não fazer nada em relação à matéria da qual somos feitos, em relação à matéria que nos cerca. Tudo depende do que a matéria em questão contém. De fato, acontece que isso depende de uma única coisa: uma coisa que os cientistas denominaram *carga eletromagnética*. E, da mesma forma que você consegue medir sua massa numa balança, também pode medir sua carga usando um instrumento. Contudo, em geral, a sua carga é zero – o corpo humano é neutro eletromagneticamente (caso contrário, os ímãs adeririam em você, o que seria bastante incômodo). Mas esse não é o caso para as partículas individuais que constituem seu corpo.

Somente dois tipos de cargas eletromagnéticas podem ser encontrados na natureza. Por conveniência, foram chamadas de positiva e negativa, mais e menos.

A regra é que pérolas de luz virtuais repelem cargas iguais (isto é, similares), enquanto atraem as opostas. Cargas mais e mais, assim como cargas menos e menos, são afastadas mutuamente pela luz virtual que aparece entre elas. E, quanto mais próximas estão (ou seja, quanto mais pérolas de luz virtuais), mais forte é a força de repulsão. Cargas mais e menos, por outro lado, gostam de se abraçar. Como seu ímã e sua geladeira. E, quanto mais próximos estão, mais forte se atraem mutuamente. Os objetos neutros, por outro lado, não se importam com essas pérolas de luz, e um objeto pode ser neutro tendo exatamente a mesma quantidade de cargas positivas e negativas (seu corpo é assim), ou por não carregar nenhuma carga elétrica (algumas partículas que você conhecerá posteriormente não carregam nenhuma). Essas são as regras do campo eletromagnético.

Agora, você pode achar que, como essa explicação de como os ímãs e as geladeiras interagem não pode ser vista com nossos olhos, essa pode ser uma construção mental muito útil, mas não exatamente algo que corresponde a como a natureza realmente funciona. O campo eletromagnético, você defende, é somente uma imagem que dá aos cientistas uma maneira de descrever como os objetos com carga reagem à presença de um ímã. Uma imagem, inteligente e imaginativa, com certeza. Mas nada além disso.

Você pode achar tudo isso, sem dúvida, mas está enganado.

O campo ao qual acabou de ser apresentado, essa névoa invisível que permeia o universo inteiro e se torna mais ativa perto e no meio de objetos com carga, é muito mais do que isso.

Por exemplo, é muito real.

De fato, ele não só governa tudo que possui uma carga elétrica ou magnética, também é a entidade que dá origem, em toda parte do universo, a toda e qualquer partícula eletromagneticamente carregada, e também à luz. Os elétrons que logo você encontrará são expressões disso. A luz que seus olhos detectam são outra. Ambos são apenas ondulações no campo.

Atualmente, muitos entre os cientistas mais brilhantes do mundo consideram o campo eletromagnético mais fundamental que os próprios ímãs. Ou até que as geladeiras. Mais fundamental até que a luz. E mais fundamental que você. Por mais absurdo que essa última afirmação possa parecer.

Antes do fim dessa parte, você tomará conhecimento da existência de dois outros campos quânticos, que também preenchem o universo inteiro. E se dará conta de que, no que diz respeito à ciência moderna, você, eu, toda a matéria que conhecemos e vemos e todas as luzes que brilham em qualquer lugar são todas somente expressões, ondulações novamente, desses campos. Nós, seres humanos, somos realmente como peixes no mar. Um mar feito de campos. Exatamente como tudo o mais. E, ainda que nossos antepassados vivessem antigamente no mar, ainda foram necessárias eras para eles evoluírem e descobrirem a existência dos campos quânticos.

Capítulo 3

Ingressando no átomo

Você ficou encarando com um olhar ausente o ímã pregado em sua geladeira por bastante tempo. Balança a cabeça negativamente e abre a porta para pegar o leite que tanto queria antes de o ímã chamar sua atenção para um fenômeno um tanto fantasmagórico.

Depois de voltar à mesa onde deixou sua caneca de café, você está prestes a verter o leite quando a visão do ouro situado ao lado o detém.

O que são exatamente aqueles átomos de ouro que achou antes, ou os átomos oscilando sobre a superfície do ímã? São como pequenas esferas? São cubos? Quais são exatamente as cargas com as quais as pérolas de luz virtuais do campo eletromagnético gostam de atuar? E o que eu quis dizer ao afirmar que são todas expressões dos mesmos campos?

Como você talvez esperasse, essas perguntas o enviam direto de volta ao seu estado de minivocê, que se vê flutuando no meio da cozinha, longe de qualquer objeto familiar, curioso para ver do que é feito esse átomo de ouro que você escolheu antes.

Mas não é um átomo de ouro que encontra primeiro. Em vez disso, é o menor átomo que existe. Aquele que constitui 74% de toda a matéria conhecida do universo: hidrogênio. O próprio átomo que as estrelas, como o Sol, fundem em seu centro para criar átomos maiores e, como subproduto dessa fusão, para brilhar.

Para sermos justos, você não viu muito.

Há *alguma coisa* na sua frente; disso você tem certeza, mas tem dificuldade de descobrir *onde* está, sem falar no *que* é. O fato de aguçar seus miniolhos para focar com ainda mais precisão não faz diferença; então, decide tentar sentir de novo, ao estilo iogue.

Surpreendentemente, funciona.

Seus olhos estão fechados, mas você consegue imaginar algo.

Algum tipo de onda agitando o campo eletromagnético ambiente... Uma onda oscilando ao redor de uma esfera... Uma esfera oca, ou, mais propriamente, um lóbulo oco... E, de fato, não é realmente uma onda... Mas parece algo esférico, não, em forma de lóbulo, com ondulações que se movem rápido... A uma velocidade muito próxima da velocidade da luz, de modo que o mundo que vê deve estar muito distorcido, sem falar na maneira pela qual o tempo dela tiquetaqueia em comparação com o seu, mas não está realmente concentrado numa posição específica... Tudo bem, sejamos francos, você não sabe o que está imaginando, mas esse todo esférico, ou em forma de lóbulo ou de seja o que for, essa coisa veloz,³¹ transporta uma carga elétrica. Pode sentir seu efeito sobre o fundo do campo eletromagnético, exatamente como você sentiu em relação ao ímã se aproximando. O átomo é isso? Ainda concentrado, se dá conta de que há outra coisa... Algo enterrado bem fundo, algo muito pequeno, em comparação com o volume transposto pelo onda móvel, mas algo que deve ser forte, muito forte, para manter aquela carga móvel que sente ao perambular.

O átomo de hidrogênio, você percebe, possui um centro circundado por uma carga móvel. Todos os átomos do universo possuem essa estrutura: um centro de tamanho variável circundado por uma ou mais ondas carregadas eletricamente.

Os cientistas batizaram esse centro de *núcleo* atômico, enquanto a onda difusa, carregada, oscilante é um *elétron*.

E isso é uma revelação surpreendente.

O elétron não se parece com o ponto minúsculo que você tinha imaginado.

Para se certificar de que não está cometendo um engano, abandona o estilo iogue e abre os olhos. Inesperadamente, a onda oscilatória desaparece de imediato, tornando-se outra coisa, algo que parece muito mais uma partícula.

Bom.

Elétrons exatamente idênticos a esse estão presentes em diversas quantidades em todos os átomos do universo. São a base de todos os nossos aparelhos elétricos e magnéticos, quer seja um computador, uma máquina de lavar, um celular, uma lâmpada... Qualquer coisa. Todos os nossos instrumentos de energia e comunicação dependem deles.

Lentamente, muito lentamente, você move uma de suas mãos minúsculas para a frente, a fim de agarrar esse elétron e estudá-lo de perto.

De modo bem estranho, o elétron é muito difícil de pegar. Cada vez que

consegue localizá-lo com o canto de seus miniolhos, ele começa a se mover de modo errático, como se o próprio ato de sua tentativa de localizá-lo o faça mudar de curso de uma maneira imprevisível.

Isso não é sua imaginação pregando um peça em você.

É um fenômeno real. Um dos muitos que ocorrem no mundo quântico, mas não em nosso mundo cotidiano de vasos de cristal e xícaras de café.

Faz parte da fundamental incerteza da natureza como ela é considerada do nosso ponto de vista. Na Parte VI, teremos uma visão profunda do que isso significa, mas você já sente que há algo estranho acontecendo. O que precisa é realmente capturar esse elétron e fazê-lo falar. Isso mesmo. Minivocê ou não, você é mente pura aqui; é possível fazer o que quiser. E será amaldiçoado se um minúsculo elétron provar que você está errado. Então... Vamos! Mais rápido do que o pensamento, quando seus miniolhos percebem o elétron de relance, ali mesmo, à sua direita, você o agarra. E ali está ele agora, em sua mão direita, firmemente fechada. O elétron está oscilando dentro; parece como se uma borboleta voando quase à velocidade da luz estivesse batendo suas asas na palma de sua mão. Você começa a comprimir seus dedos. Os elétrons são partículas carregadas. Eles interagem com os contidos em sua minimão através de pérolas de luz virtuais que surgem no campo eletromagnético.

Você comprime, comprime, comprime, ansioso em aquietá-lo dentro da menor das prisões e... De repente, não o sente mais. Ele sumiu.

Você abre a mão.

Nenhum elétron.

Você tem absoluta certeza que não deixou nenhuma brecha entre seus minúsculos dedos, mas, no entanto, o elétron saltou fora. E não sente nada. Saltou de você, sem tocá-lo.

Está de volta circundando o centro invisível do átomo de hidrogênio do qual o tinha tirado.

Que insolente.

Mas como o elétron fez isso? Como ele conseguiu se livrar de você sem tocá-lo? Bem, ele criou um túnel através de sua mão. Saltou. Um salto recordista. Um salto quântico. Algo que está confinado no mundo subatômico e que não existe na vida diária no nível macro das cozinhas, dos vasos e dos aviões. Ou assim alguém pode pensar.

Você ainda não conseguiu analisar um elétron, mas já conhece uma de suas propriedades estranhas: ele é capaz de saltar como um louco. O fenômeno em si é denominado *tunelamento quântico* (ou *efeito túnel*) ou *salto quântico*, e

acontece que não só os elétrons, mas *todas* as partículas presentes no mundo quântico podem realizar o salto quântico ou o tunelamento.

Agora que estabelecemos isso, façamos uma pequena pausa, para refletir junto a respeito da terminologia.

Quando os cientistas descobrem algo novo, eles precisam dar um nome a isso. Para o muito pequeno, para o mundo quântico, eles criam associações de palavra, onde a palavra “quântico” é precedida por outro, em geral da língua vulgar. Aqui temos “tunelamento”, “salto” ou “mundo”, todos termos que são facilmente entendidos e que, independentemente, significam o que significam para nós no mundo cotidiano. A presença da palavra “quântico”, porém, serve como advertência. “Quântico” significa que há algo suspeito acontecendo. No exemplo à mão, a coisa suspeita em relação a tunelamento quântico é a seguinte: realmente, os elétrons criam túneis através das coisas... mas não há nenhum túnel.

Os saltos quânticos dificilmente acontecem na escala humana, mas imagine se acontecessem. Imagine que você voltou no tempo, quando era criança, nessa mesma cozinha. Seu pai acabou de pedir que limpe a mesa, mas é tarde e, subitamente, você sente todos os cem quilômetros de ar pesando sobre seus ombros frágeis. Você resmunga alguma coisa bem baixinho, mas não diferente do rosnado de um filhote de urso. Porém, nada funciona. A mesa está esperando por você.

Você se senta no chão, cheio de desespero. E então lá vai você. De repente, se encontra na sala de jantar, do outro lado da parede da cozinha, perto da mesa, e todos os talheres, pratos e copos constroem um túnel ou saltam através da parede, para a cozinha. Isso pode parecer um conto de fadas ou uma cena de *Mary Poppins*. No entanto, para sermos justos, com saltos quânticos como esse, nunca se sabe para onde os talheres, os pratos e os copos saltariam. Assim, dificilmente há alguma chance de eles acabarem no lava-louças, e seu pai teria de comprar tudo de novo, pois você nunca encontraria nenhum deles.

Parece estranho, não?

Bem, isso é o tunelamento quântico. Portas, paredes e privacidade não existiriam se as leis quânticas se aplicassem em nossa escala. Felizmente, e um tanto misteriosamente, não se aplicam.

Graças ao tunelamento quântico, porém, quase tudo no domínio do muito pequeno pode cruzar qualquer barreira. Como? Entende-se que eles são capazes de fazer isso porque podem tomar energia emprestada do campo

quântico ao qual pertencem: o mar onde nadam, o mar que preenche cada lugar singular do espaço-tempo. Sempre que quiserem. O sonho de todos os atletas.

No entanto, isso não lhe revela a aparência de um elétron, e serei bastante honesto com você: seu minivocê terá de encarar uma leve decepção aqui. Descrever um elétron não será possível, por causa do próprio campo quântico ao qual ele pertence.

O campo eletromagnético está em toda parte, e cada elétron individual existente no universo não só pertence a ele, como também é exatamente idêntico a outro elétron, em qualquer lugar e em qualquer instante do tempo. Intercambie dois deles, e o universo não notará. Por causa disso, por causa do campo quântico dos quais eles são uma expressão, os elétrons não podem ser descritos como alguém descreveria um objeto microscópico. Eles pertencem ao campo. São parte dele, com uma gota de água no vasto oceano, ou uma rajada de vento no ar noturno; você não é capaz de localizar uma gota ou uma rajada. Já que ninguém enxerga, as gotas e as rajadas são exatamente como o próprio oceano, como o vento. Misturados num ente muito mais vasto do que eles mesmos, eles acabam não tendo identidade própria.

No mundo quântico, assim que você o observa, os elétrons viram partículas com determinadas propriedades, como gotas removidas do oceano, mas suas propriedades não se parecem com nada já visto. Não se comportam como previsto – ou ao menos como nossos sentidos podem esperar de nossa experiência da vida diária.

Se souber onde está um elétron, você *não conseguirá* saber quão rápido ele está se movendo: sua velocidade se torna imprevisível. Eis por que você teve dificuldade de localizar o elétron ao redor do átomo de hidrogênio. Em qualquer momento em que o viu, ele começou a se mover de modo errático. Você foi incapaz de segui-lo e ele sumiu de sua vista.

De modo similar, se souber quanta energia um elétron possui, você *não conseguirá* saber quanto tempo ele vai mantê-la.

Energia e tempo, posição e velocidade não são conceitos mutuamente independentes no interior dos campos do mundo quântico. Na Parte VI, você ouvirá falar mais disso, mas, por enquanto, desde que seu minivocê está excursionando pelo mundo quântico pela primeira vez, pode considerar isso uma advertência (e talvez uma provocação para alguns). Seu minivocê deve absorver tudo como se fosse uma criança pequena descobrindo o mundo: sem preconceitos. A posição e a velocidade não podem ser conhecidas simultaneamente? Ótimo. É isso aí. As leis quânticas permitem saltos e

tunelamentos do outro mundo? Tudo bem, que assim seja. A interpretação virá no momento oportuno, ou não.

No entanto, toda essa coisa de tunelamento quântico também parece um absurdo total para mim, e me contaram que, após um curso que Einstein deu a respeito de física quântica, ele disse aos seus alunos: “Se vocês me entenderam, então não fui claro.” Assim, se isso também parecer absurdo para você, tudo bem. A natureza não fica ofendida. Está ali para descobrirmos, e basta. Mas é verdadeiramente real?

Bem, algumas pessoas assumiram com seriedade o tunelamento quântico e tentaram achar aplicações práticas para o mesmo. Surpreendentemente, tiveram êxito.

Há trinta anos, aproximadamente, Gerd Binnig, físico alemão, e Heinrich Rohrer, físico suíço, trabalhando para a IBM em Zurique, na Suíça, convenceram-se de que podiam utilizar o tunelamento quântico para examinar qualquer superfície numa escala extraordinariamente pequena e observar a aparência dessa superfície. Eles acreditavam que o tunelamento quântico poderia lhe permitir ver os átomos.

Normalmente, um elétron não deixa seu átomo se não tem lugar melhor para ir. E normalmente, se há outro lugar para ir, ele precisa estar muito perto; caso contrário, o elétron não consegue chegar ali, exceto se ele usar seu poder quântico para construir um túnel através dos vazios e saltar sobre obstáculos.

Por meio de uma agulha extremamente fina e pontuda, conectada a um detector de corrente elétrica, Binnig e Rohrer examinaram a superfície de um material, sem tocá-la. Estando um tanto longe dela, eles não deveriam ter detectado nada; a distância entre a superfície e a agulha sendo muito grande para um elétron atravessar. No entanto, eles detectaram correntes elétricas, correspondentes a saltos de elétron.³² E, quanto mais perto de um átomo sobre a superfície do material a agulha estava, mais saltos eles detectaram e maior era a corrente elétrica. Então, Binnig e Rohrer tabularam essas correntes num gráfico e obtiveram uma imagem tridimensional do material, em nível atômico, com detalhes extraordinários. Eles tinham desenvolvido um microscópio – um *microscópio de tunelamento com varredura*, como agora é chamado – que podia ver os próprios átomos. Sua precisão é espantosa: entre 1% a 10% do diâmetro de um átomo de hidrogênio. Em outras palavras, se os átomos de hidrogênio tivessem pés, um microscópio de tunelamento com varredura seria capaz de contá-los, talvez até o número de dedos dos pés.

Há décadas, os átomos de ouro como aqueles que você encontrou na cozinha

foram examinados dessa forma, e os microscópios de tunelamento com varredura são utilizados hoje para retratar como tipos diferentes de átomos estão entrelaçados no interior da matéria que nos cerca, assim como nos materiais artificiais de última geração. Com esse microscópio, os engenheiros obtiveram a capacidade de deslocar átomos individuais. O tunelamento quântico é real. Além disso, tem aplicações práticas.

Pelo projeto desse instrumento, Binnig e Rohrer, em 1986, foram agraciados com o Prêmio Nobel de Física.³³

Elétrons como o que tentamos pegar preenchem os domínios externos de todos os átomos do universo. E são elusivos. No entanto, apesar de serem incapazes de descrever exatamente a aparência deles usando a terminologia da vida diária, os cientistas aprenderam a aceitar seu comportamento estranho.

Até onde a ciência atual sabe, os elétrons não são feitos de partículas menores. Ao contrário dos átomos, não podem ser cortados, divididos ou quebrados. Simplesmente são resultado do campo eletromagnético; são uma expressão dele.

Por serem nada além de si mesmos, por serem uma das expressões mais básicas e fundamentais do campo eletromagnético, são denominados *partículas fundamentais*.

Em contraste, as pérolas de luz evanescentes que apareceram antes no meio do ímã e da geladeira foram denominadas partículas *virtuais*. Elas eram as *partículas mensageiras*. Existiram somente para transportar a força eletromagnética entre as partículas carregadas elétrica ou magneticamente.

Os átomos, sendo compostos de constituintes menores (como elétrons e quaisquer coisas que compõem seu centro), não são partículas fundamentais. Eles são constituídos de muitas delas.

Agora, os elétrons não só interagem com o resto do mundo por meio de fótons virtuais. Eles também são capazes de jogar com fótons *reais*, com a luz real que seus olhos detectam. Esse jogo de matéria e luz é o que nos faz ver o mundo como vemos.

Hoje em dia, como são entendidos, os fótons reais, da mesma forma que os elétrons, são expressões fundamentais do campo eletromagnético, resultados de nada mais: são ondulações puras no interior de um mar invisível; ondulações quânticas capazes de se comportar como ondas e como partículas.

Nesse momento, um grupo deles está banhando seu átomo de hidrogênio. Eles viajaram muito para chegar aí. Por cerca de um milhão de anos, eles se

esforçaram e avançaram desde o centro de fusão do Sol até sua superfície, que alcançaram cerca de oito minutos e meio atrás. Livres, enfim, para avançar através do espaço sideral desembaraçados da matéria, eles viajam à velocidade da luz ao longo dos 150 milhões de quilômetros que separam nosso planeta da superfície furiosa de nossa estrela. Entre todos os planetas aos quais eles poderiam ter ido, esses fótons acabaram atingindo a atmosfera terrestre há apenas uma fração de segundo, só para se carregarem através dela e alcançar... a janela de sua cozinha. A partir daí, não restou muito para os fótons fazerem. Eles passam pela vidraça e banham seu átomo de hidrogênio.

Seu minivocê observa os fótons enquanto debandam pela cozinha, esperando vê-los atingir seu átomo. Em vez disso, todos voam pelo recinto e se chocam contra a parede de sua cozinha.

Exceto um, que desapareceu.

Aonde ele foi?

Surpreso, você olha ao redor e, então, percebe que seu elétron elusivo do hidrogênio está, nesse momento, oscilando de modo diferente que antes. Considerado uma onda encerrando o núcleo, suas cristas estão mais perto umas das outras.

Como isso é possível?

Ele ficou excitado e engoliu o fóton.

Lembre-se de que nos deparamos primeiro com esse fenômeno estranho na Parte II, ao verificarmos o primeiro princípio cosmológico.

No entanto, agora, algo ainda mais interessante está acontecendo: depois de pouco tempo, o elétron, de repente, expelle o *mesmo* fóton que desapareceu – o fóton que havia engolido –, numa direção aleatória.

*

Após dedicar algum tempo para refletir a respeito disso, você deduz a única conclusão possível: as partículas mais conhecidas do campo eletromagnético – isto é, os elétrons e os fótons – podem interagir e interagem mutuamente. Esses elétrons e fótons podem se transformar um no outro.

Refletindo a respeito disso um pouco mais, se dá conta de que sempre soube disso: você não se sente aquecido quando toma sol? Sua pele não se aquece, quando, no inverno, fica diante de lenhas queimando numa lareira? Sua pele, como toda a matéria de nosso mundo, é constituída de átomos, cujas camadas externas são preenchidas com elétrons. Quando a luz solar os atinge, os átomos de sua pele e seus elétrons capturam alguns fótons, que são convertidos em

elétrons excitados, elétrons que oscilam um tanto mais rápido, criando o calor que seu corpo aprecia (ou não).

É uma descoberta tão incrível que eu, aqui, repito: matéria e luz podem se converter e se convertem uma na outra.

Nesse nosso mundo, tudo é um jogo de matéria e luz.

Mas não só isso.

31 Nesse caso, veloz pode até significar relativístico; isto é, movendo-se numa porção significativa da velocidade da luz.

32 Se você estiver curioso, os fótons virtuais – as pérolas de luz que transportam a força eletromagnética – não contêm nenhuma carga. Assim, não podem ser responsáveis por isso.

33 Eles dividiram o Nobel daquele ano com Ernst Ruska, físico alemão, que desenvolveu outro tipo de microscópio: o eletrônico. O ano de 1986 foi ampliador.

Capítulo 4

O duro mundo do elétron

Nos últimos dois capítulos, embora só tivesse visto um ímã interagir com uma geladeira e espiado a superfície de um átomo, você fez grandes descobertas. Solucionou o mistério da “ação à distância” do eletromagnetismo e viu como a matéria e a luz jogam entre si. Claro, esse jogo é apenas uma faceta de nosso mundo, mas é um fenômeno do qual nossos humildes sentidos humanos são desenvolvidos para ter consciência. Continuamente, a luz nos atinge, excitando elétrons no interior de nosso corpo, no interior de nossos olhos e de nossas retinas, aquecendo a matéria da qual somos feitos, fornecendo alguma energia. Os átomos também podem expelir de volta a luz que seus elétrons engoliram, possibilitando que nós e os objetos “brilhem” com uma ou mais cores, as cores do átomo – ou do conjunto de átomos – que os engoliram. Isso é o que dá aos nossos olhos, à nossa pele, aos nossos cabelos, às nossas roupas, a todas as plantas e pedras uma cor, da mesma forma que também dá a estrelas distantes uma coloração específica. Os raios de luz atingem um tomate; toda a luz visível é absorvida para aquecê-lo ou para ser armazenada em seu interior, exceto os raios de luz vermelha, que, não servindo a nenhum propósito aos átomos do tomate, são expelidos para fora, distantes de sua jornada, para dizer aos nossos olhos que estamos observando um belo tomate vermelho. Sem os elétrons e fótons, não veríamos um tomate, nem saberíamos do que o resto de nosso universo é feito, ou que isso obedece às mesmas leis da física tanto longe de nós, como as que se aplicam perto de nós. No entanto, o mais incrível é que, graças aos nossos sentidos, nossos corpos transformam todas essas interações sobrenaturais em sensações processadas por nossos cérebros. Graças a isso, a humanidade descobriu a ciência por trás dessas interações e a existência de campos que preenchem o universo inteiro. E isso não é só incrível, mas também simplesmente milagroso.

Agora, o que dizer do centro atômico: o núcleo? Ele também é feito de elétrons? É outra expressão do campo eletromagnético? Tem de ser, de certa maneira, pois, até onde você sabe, o átomo de hidrogênio inteiro que está considerando é eletricamente neutro. Então, o centro também deve ter uma carga, oposta àquela do elétron que o circunda. Assim, ambos anulam um ao outro quando vistos de certa distância. No entanto, como você não viu isso?

Quando seu diminuto eu examina o átomo de hidrogênio que flutua no meio de sua cozinha, subitamente lhe ocorre que esse companheiro hidrogênio parece muito um monte de espaço vazio, em comparação com o que de fato contém, independentemente do que seu centro possa ser feito. Esse fato – a quantidade de vazio existente entre o centro e os elétrons – é realmente compartilhado por todos os átomos conhecidos do universo.

Estranho.

Por que, então, um ímã simplesmente não atravessa a superfície de uma geladeira, os espaços vastos, vazios dos átomos do ímã flutuando pelos espaços vastos, vazios dos átomos da porta metálica? Por que, em vez disso, o ímã permanece aderido à geladeira? Os átomos que colidem não deveriam simplesmente *não* colidir, cruzando-se como duas nuvens de vapor, sem nem mesmo notar a presença uns dos outros? Bem, não. Felizmente. Caso contrário, o mundo não seria sólido. E os elétrons são o motivo disso, e não os núcleos. Para descobrir qual é o motivo disso, o átomo de ouro que já preparou será útil.

O átomo de hidrogênio que você considerou até agora é o menor átomo que existe. Um átomo de ouro é maior. Você salta para perto do seu e o observa.

A primeira coisa que nota é que ele não tem apenas um elétron isolado ondulante oscilando ao redor do núcleo, mas 79; todos os 79 sendo idênticos ao elétron isolado ondulante oscilando ao redor do centro do átomo de hidrogênio.

A segunda coisa é que, por mais idênticos que possam ser entre si, esses elétrons ondulantes não compartilham seu território. Jamais. Simples e claramente, eles evitam estar no mesmo lugar, ao mesmo tempo, pois acontece que a natureza os proíbe de fazer isso: independentemente do átomo ao qual pertençam, seu eu ondulatório sobrepõe lugar nenhum, impondo, assim, condições muito estritas sobre sua possível coabitação no interior de qualquer átomo. Eles não têm escolha, exceto se arranjam em camadas, como uma cebola, ao redor do núcleo, sendo isso exatamente o que fazem. Apenas dois elétrons podem preencher a primeira camada, mais interna. Apenas oito podem se estabelecer na segunda; dezoito na terceira; 32 na quarta, e assim por diante.

Esses números são conhecidos e são iguais para todos os átomos

identificados do universo. O que torna um átomo diferente do outro está associado ao número de elétrons que ele contém, e não à natureza desses elétrons. Os elétrons são sempre idênticos.

O hidrogênio, o menor dos átomos, possui um elétron, cujo orbital se situa no interior do primeiro nível eletrônico. O hélio tem dois elétrons. Seus orbitais preenchem o primeiro nível. O neônio, para considerar um terceiro átomo ao acaso, apresenta dez elétrons. Seus dois primeiros níveis eletrônicos estão saturados. As propriedades química e mecânica de todos os átomos relacionam-se com o fato de quão cheios estão seus níveis atômicos externos.

Se você quiser adicionar um elétron extra num átomo, não poderá simplesmente colocá-lo onde quiser nem, sem dúvida, no interior de uma camada já cheia. Agora, se os elétrons fossem partículas como pontos, isso seria difícil de conceber. Embora, sob certas circunstâncias especiais, eles possam ser como bolinhas de gude (na Parte VI, você obterá mais detalhes a esse respeito), também podem *não* ser, para que se comportem como ondas. E ondas conseguem com muita facilidade preencher certo volume. Eis por que, numa camada cheia de elétrons, não há espaço para um elétron recém-chegado. Se um elétron extra (por iniciativa própria ou pertencendo a outro átomo) quisesse integrar um átomo já existente, ele teria de se estabelecer mais além dos nativos, onde talvez existisse espaço disponível, ou teria de ocupar o lugar de um que já está ali, expulsando-o. Eles abominam ter seus eus ondulatórios sobrepostos. É um mundo cão.

Essa regra de não coabitação tem um nome. Denomina-se *princípio de exclusão de Pauli*. Foi descoberto em 1925, por Wolfgang Pauli, físico teórico suíço³⁴ que, em 1945, foi agraciado com o Prêmio Nobel de Física por isso.

Esse princípio de exclusão é o motivo pelo qual os ímãs aderem às portas das geladeiras sem atravessá-las, ou, talvez de modo mais importante, o motivo pelo qual você não consegue atravessar paredes nem cai através do piso. Também explica por que você consegue segurar este livro em suas mãos: os átomos em sua capa possuem elétrons externos, que se recusam enfaticamente a ceder seu lugar aos existentes nas pontas de seus dedos. E seus elétrons também não sairão do lugar. Assim, eles se mantêm separados. E de nenhuma maneira sua própria força pode obrigar algum deles a agir de outra maneira. As ondas eletrônicas não se sobrepõem. Jamais. Não tente atravessar uma parede para provar que eu ou Pauli estamos errados. Seu nariz se quebraria muito antes que os elétrons notassem qualquer coisa.

No entanto, embora os elétrons gostem de sua privacidade, eles não se

importam de serem compartilhados. E isso lhes permite, felizmente para nós, construir a matéria da qual somos feitos, como você está prestes a ver agora.

Você estava na iminência de mergulhar em seu átomo de ouro, mas terá de esperar, pois um átomo de oxigênio está passando ao lado.

Você o contempla.

Menor que o átomo de ouro, o de oxigênio, com seus oito elétrons, é, no entanto, muito maior que o de hidrogênio.

Seu primeiro nível atômico está cheio, mas há espaço para dois outros elétrons em seu nível mais externo, o segundo, que tem seis elétrons e pode conter oito.

Os elétrons isolados do hidrogênio não estão dispostos a deixar essa oportunidade passar.

E há dois átomos de hidrogênio próximos. Dessa maneira, assim que o átomo de oxigênio passa ao lado, o elétron isolado do primeiro hidrogênio salta e se estabelece na família do oxigênio, para jamais ficar sozinho de novo.

E, exatamente quando você vê isso acontecendo, o elétron do outro hidrogênio preenche o último lugar vago.

E, como todos os elétrons do universo são exatamente idênticos, ninguém pode afirmar quem estava ali em primeiro lugar e quem chegou depois. A assimilação perfeita.

Ligados aos seus elétrons por pérolas de luz virtuais, os núcleos, nesse caso, não têm escolha, exceto segui-los, e assim os três átomos estão agora aderidos a um outro. Dois hidrogênios e um oxigênio são forçados a coabitar.

Depois disso, não há mais espaço disponível para qualquer elétron extra. A construção inteira está estável.

Ao compartilharem seus elétrons como descrito acima, os átomos se tornam parte de estruturas maiores, que são denominadas *moléculas*. A molécula que você acabou de ver sendo construída é composta de dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio.

Dois Hs e um O.

H₂O.

É água: a molécula mais preciosa para a vida que conhecemos.

Numa escala universal, a água não é geralmente formada em sua cozinha, mas sim no espaço sideral, no interior das imensas nuvens de poeira estelar espalhadas dentro das galáxias, e que os astrônomos chamam de *nebulosas*.

No interior dessas nebulosas, o oxigênio forjado nas estrelas que explodiram se mistura com o hidrogênio, que pode ser encontrado por toda parte.

Quando as estrelas morrem, elas enviam suas sementes para longe, preparando o terreno para a criação das moléculas de água. E também de muitas outras moléculas.

*

Ao compartilharem um ou mais elétrons, diversos átomos podem se unir, de maneiras muito distintas, formando cadeias de complexidade variada. Dessa maneira, a natureza criou moléculas de diferentes tamanhos e propriedades, desde as muito pequenas (as moléculas de água são feitas de três átomos apenas) até as extraordinariamente longas, como seu próprio DNA, que, com seus bilhões de átomos unidos, carrega toda a informação necessária para construir alguém como você.

É para lançar alguma luz sobre a origem dessas moléculas que deram início à vida na Terra e para desvendar o mistério da origem da água que atualmente cobre 70% da superfície de nosso planeta que, na última década, inúmeros satélites foram enviados ao espaço. Nossa água vem de asteroides que colidiram com nosso planeta há 4 bilhões de anos? Ou de cometas que fizeram o mesmo? E essas rochas e bolas de gelo transportavam algumas, ou todas, sementes moleculares da vida? Em breve, deveremos saber, pois muitos desses satélites estão agora no lugar, ou estão a caminho.

Nesse meio-tempo, sabemos de uma coisa: apenas seis átomos foram necessários para criar todas as moléculas requeridas para a vida florescer na Terra: carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo e enxofre. O assim chamado CHONPS.³⁵

Ou seja, como seu corpo inteiro é composto de moléculas que são constituídas desses átomos, montadas de diversas maneiras, você é um CHONPS. Sem nenhuma intenção de ofender.

Agora que contempla seu corpo composto de CHONPS, outra pergunta surge em sua mente: já que você e o ar são feitos desses átomos que compartilham elétrons, como, então, você (felizmente) consegue atravessar o ar, mas não consegue atravessar uma parede?

De fato, uma pergunta importante.

Pelo que sabemos, o ar está cheio de átomos, que possuem tantos elétrons

quanto alguém pode querer. Assim, eles não deveriam deixá-lo passar. Essa é a regra de Pauli.

A resposta é que os átomos do ar não estão todos compartilhando seus elétrons e, portanto, não se agarram tanto uns aos outros, enquanto, formando um sólido, os seus estão. Em vez de impedi-lo de se mover, os elétrons que circundam os átomos que compõem o ar afastam-se quando os seus forçam a passagem, casualmente chocando-se e criando algum vento. Essa é a diferença entre um gás e um sólido.

Nos líquidos, os átomos próximos estão um pouco mais firmemente ligados uns aos outros, mas não o suficiente para detê-lo, a menos que você ingresse nele muito rápido, como quando mergulhando de um penhasco no mar. Nos sólidos, os átomos não se movem para o lado, a menos que os force a fazer isso; pense numa tesoura afiada cortando papel.

Agora, em vez de lutar por sua posição, um elétron também pode ser forçado a partir, oferecendo um lugar vazio para outro elétron preencher. Quando um átomo perde um elétron (após ser atingido por um poderoso fóton de luz solar, por exemplo), as cargas combinadas do centro e do(s) elétron(s) não resultam mais em zero. Os átomos despojados de um ou mais elétrons tornam-se o que cientistas denominam *íons*.³⁶ Os íons tendem a procurar algo para se ligar, para formar uma molécula. De fato, eles estão desesperados para achar elétrons. Na terminologia da física, são intensamente *reativos*.

Inversamente, as ligações criadas pelos elétrons no interior de uma molécula também podem ser quebradas. Em geral, energia é liberada durante esse processo, e eis por que consumir alimentos é bom. As reações químicas dentro de seu organismo quebram as moléculas contidas dentro da comida, liberando energia que então é utilizada de diversas maneiras por seu organismo, para mantê-lo vivo.

Muito bem.

Isso resume nossa análise a respeito do mundo minúsculo dos elétrons. Você só roçou a parte externa de três átomos e, no entanto, já descobriu como a ciência moderna entende quase tudo de nossas experiências corporais numa base diária. Assim, antes de rumarmos para um centro atômico ainda misterioso, vou sintetizar suas experiências nos últimos capítulos.

As partes externas de todos os átomos em todo o universo são cargas elétricas massivas, ondulatórias e pouco nítidas denominadas elétrons. São partículas fundamentais do campo eletromagnético e bastante protetoras de seu

espaço pessoal. O princípio de exclusão de Pauli proíbe dois elétrons de estar no mesmo lugar do espaço e do tempo. Ainda que haja mais vazio que qualquer outra coisa em todos os átomos do universo, esse é o motivo pelo qual você não consegue atravessar uma parede, não cair através de uma cadeira, uma cama ou quase qualquer coisa sólida. Caso contrário, a vida seria complicada.

A regra de Pauli também sugere diferenças estruturais e químicas entre átomos diferentes: como os elétrons não podem se amontoar todos juntos o mais perto possível do núcleo, ocupam uma série de camadas semelhantes à cebola ao redor do centro atômico, só enchendo os espaços disponíveis, fazendo os átomos crescerem com a quantidade de elétrons que eles contêm.

Os elétrons, deve-se dizer, não são as únicas partículas sujeitas ao princípio de exclusão de Pauli. Outras partículas também são, mas não todas. A luz, por exemplo, discorda disso. Você pode empilhar quantos fótons quiser, no menor lugar que quiser. Eles não vão se importar. De fato, eles gostam bastante disso, e, quanto mais iguais dois fótons são, mais tendem a se aconchegar, como pinguins no frio. Os lasers são consequência dessa afeição: são altamente concentrados, raios altamente energéticos de fótons idênticos.

Agora, tendo chegado até esse ponto, você talvez tenha ficado com a impressão de que os elétrons e a luz são as únicas partículas que contam em nosso universo. Mas isso não é verdade. Em breve, verá que há outras dentro do núcleo atômico, mas só quero salientar que há até mesmo partículas ao nosso redor que não se importam com o desejo dos elétrons por privacidade nem com a existência deles. Ou, aliás, com algo mais que conhecemos. São partículas que não pertencem aos átomos. Algumas delas são tão arredias que atravessam seja o que for, deixando apenas um traço de sua passagem. Para essas partículas minúsculas, o universo deve parecer bastante enfadonho e vazio. Mesmo a Terra. Mesmo você. Essas partículas serão conhecidas muito em breve.

Por enquanto, porém, você deveria celebrar de novo! Com aquilo que acabou de aprender acerca dos elétrons e da luz, sabe o que poucas pessoas sabiam há meio século, e a maioria delas era brilhante, já que ganharam um Prêmio Nobel por descobrirem isso.

Mas há outras coisas.

Graças a elas, você agora consegue explicar quase tudo que acontece ao seu redor, desde a cor de um tomate até a solidez de uma parede ou do chão, passando pelo motivo que leva os ímãs a saltar de seus dedos para aderir às portas das geladeiras.

Tudo que você, eu e todos os nossos amigos experimentam diariamente é regulado pela matéria e pela luz, que brincam uma com a outra, transformando-se uma na outra, e por elétrons que se recusam categoricamente a compartilhar seu pedaço de espaço-tempo com uma cópia deles mesmos.

Da próxima vez que abraçar alguém, fique à vontade para imaginar pérolas de luz virtuais sendo criadas e ficando frenéticas à medida que vocês se aproximam cada vez mais um do outro, antes de os elétrons cumprirem a regra de Pauli e decidiram que não, vocês não são capazes de ficar mais próximos. Não tenho certeza se deve mencionar esse fato incrível em seu primeiro encontro romântico, mas deixo essa decisão para você.

Antes de continuar sua jornada através da matéria que conhecemos, eis outra boa notícia: em 2014, as experiências realizadas nos impressionantes laboratórios científicos do Centro Europeu de Pesquisa Nuclear (CERN), perto da fronteira franco-suíça, confirmaram que a humanidade tinha teoricamente descoberto tudo o que há para saber a respeito da matéria da qual somos feitos.

Tudo.

Isso não significa que não existem mais mistérios (na Parte VI, você verá inúmeros). Mas significa que, desde 2014, temos uma imagem dos conteúdos conhecidos de nosso universo, que correspondem a quase tudo que podemos possivelmente investigar ou descobrir dentro do alcance da tecnologia moderna.

Essa imagem inclui o núcleo atômico; os centros atômicos que, nesse momento, você está pronto para investigar.

E, se tem um pressentimento de que encontrará novamente coisas estranhas lá, está coberto de razão.

³⁴ Acontece que, na época, Pauli tinha acabado de ser abandonado pela mulher, que o trocou por um químico; algo muito difícil de um físico teórico engolir. Então, Pauli começou a beber para esquecer. Não surpreende que seu princípio ostente o nome “exclusão”. Todavia, ironicamente, do fundo da depressão, ele achou a razão pela qual podemos viver sobre a superfície de nosso mundo sem cair através dele, ainda que ele desse a impressão de ter perdido essa razão.

³⁵ CHONPS é um acrônimo formado pelas iniciais em inglês dos elementos, como estão na tabela periódica.

³⁶ Os átomos que de algum modo ganharam um ou mais elétrons também são chamados de íons. Os íons são átomos que não possuem sua quantidade natural de elétrons.

Capítulo 5

Uma prisão peculiar

Seu café está ficando cada vez mais frio, e seu braço, segurando o leite, dói. Mas você não se importa.

Seu minieu decidiu mergulhar cada vez mais fundo dentro de um dos átomos de hidrogênio que formou a molécula de água bem diante de seus olhos, em direção ao seu centro. Diversas pérolas de luz evanescentes (os fótons virtuais que você viu entre o ímã e a geladeira) estão aparecendo e desaparecendo ao redor, confirmando que o centro que está visando está carregado eletricamente, destruindo a ideia de que só há o nada entre os elétrons do átomo e o seu centro.

No entanto, em comparação com o tamanho que supôs que o átomo tinha, você atravessa distâncias imensas antes de alcançar o centro do hidrogênio.

Mas com o tempo você o encontra.

Como o elétron girando ao redor dele, o centro do átomo de hidrogênio não parece ter uma forma específica, mas possui uma massa, que é mais pesada que a do elétron: 1.836 vezes mais. E dispõe de uma carga; de fato, exatamente a contrária da carga do elétron.

É denominado *próton*.

É maior que o elétron, mas em comparação com o tamanho do átomo em si (é o volume abarcado pelo elétron), é bastante pequeno. Em 1911, Ernest Rutherford, físico britânico, natural da Nova Zelândia, descobriu sua existência, três anos depois de receber o Prêmio Nobel de Química por seu trabalho a respeito de um fenômeno muito novo na ocasião denominando radioatividade. Porém, o que ele não sabia, o que ele não *podia* saber, é que, ao contrário do elétron, o próton não é uma partícula fundamental. Ele tem um mundo dentro dele.

Para não perder tempo tentando o impossível, você fecha os olhos e estende os braços para *sentir*, ao estilo iogue, o que envolve o mundo interior do próton.

Imediatamente subjugado por uma força tão intensa que qualquer coisa que você experimentou até agora parece brincadeira de criança, abre seus olhos de novo em seguida.

O eletromagnetismo consegue facilmente dominá-lo: alguns ímãs ficam tão firmemente aderidos entre si que você jamais seria capaz de afastar um do outro.

A gravitação também consegue dominá-lo. Na realidade, domina-o: você jamais será capaz de saltar livremente da gravidade da Terra.

No entanto, há outro nível de poder de modo geral.

No interior do próton, no interior do que parece uma esfera difusa, turva, você vislumbrou incontáveis partículas virtuais aparecendo e desaparecendo, como as pérolas de luz eletromagnéticas vistas entre o ímã e a geladeira, ou entre o elétron e o próton. Mas não são fótons virtuais. São os mensageiros de uma nova força, e essa força, juntamente com o campo quântico ao qual pertence, é aquela que estabiliza toda a matéria do universo.

Sem ela, tudo o que conhecemos desapareceria num estalar de dedos. Tudo. Inclusive seu corpo.

As partículas virtuais que transportam essa força incrível – a força que mantém a matéria intacta – são cem vezes mais poderosas que os fótons que transportam a força eletromagnética. Elas são as partículas mensageiras das assim chamadas *interações fortes*.

Mas, se essas eram “apenas” as partículas mensageiras, por que você não viu as partículas fundamentais desse novo campo? Os fótons virtuais fizeram as partículas com carga interagir; então, o que interage nesse caso?

Sem pensar duas vezes, você salta para dentro do próton, fecha seus miniolhos de novo, ergue suas minimãos e sonda... sente... procura pelo propósito dos mensageiros dessa força forte... Cercado por tanta energia, um grande esforço de concentração é necessário, mas, no fim, você consegue. Você é capaz de distinguir três coisas, três pequenas coisas pesadas, ondulatórias e indistintas, que os cientistas denominaram *quarks*. O nome pode parecer estranho, mas não pareciam todos antes de nos acostumarmos com eles?

Ninguém, além de você nesse exato momento, já viu realmente um quark. Eles nem mesmo existem de fato – os pequenos companheiros fortes e virtuais que continuamente aparecem e desaparecem ao redor deles simplesmente não

deixam isso acontecer. Quanto mais à parte os quarks estão, mais ferozes se tornam as mensageiras da força forte, trazendo-os de volta para perto um do outro de modo muito mais eficiente que qualquer outra força conhecida da natureza.

Para os três quarks que vivem dentro do próton, a vida é, portanto, bastante confinada. Semelhante à prisão, na realidade.

E seus guardas penitenciários virtuais, os mensageiros da força forte? Quem são eles? O que são eles? Não são fótons, com certeza. Não são parte do campo eletromagnético, lembre-se – eles são expressões inteiramente de outro campo: *o campo quântico de interação forte*.

E são tão eficientes no trabalho de manter os quarks coesos que foram batizados de *glúons*, um apelido que vem de “gluê” (“cola”; em inglês).

Quarks e glúons.

Eles compõem todos os prótons de nosso universo.

Agora, nesse ponto, há algo estranho a respeito dessa prisão que seu minieu está visitando: a maioria de nós acredita definitivamente que, se você se encontra atrás das grades, enquanto pessoa, então a liberdade significa estar o mais longe possível de sua cela e dos seus guardas. Bem, para os quarks mantidos nos prótons, criminosos ou não, é o contrário. Para eles, a liberdade se situa em curtas distâncias. Quanto mais perto chegam um do outro, mais livres ficam para fazer o que querem. De fato, a liberdade do quark é um conceito muito estranho: um mundo de possibilidade se abre para eles assim que eles ficam mais perto uns dos outros.

Por terem descoberto esse tipo peculiar de liberdade, três cientistas norte-americanos, David Gross, Frank Wilczek e David Politzer, receberam o Prêmio Nobel de Física, em 2004. De fato, um conceito difícil. Tão difícil que quando me encontrei com David Gross e Frank Wilczek, em Cambridge, alguns anos antes de eles receberem o prêmio, lembro-me de me perguntar se deveria pedir-lhes que ressarcissem o dinheiro que gastei em comprimidos para dor de cabeça tentando entender o trabalho deles.

Quarks e glúons.

Quarks elementares, feitos apenas de si mesmos.

E glúons.

Os mensageiros da força mais forte que conhecemos, a *força nuclear forte*, que mantém os quarks confinados, só lhes permitindo ficar livres quando se mantêm perto uns dos outros, garantindo, assim, que a matéria da qual somos

feitos não se dissocie.

Quarks e glúons.

Realmente, nomes estranhos, nomes utilizados para descrever a essência de uma realidade muito distante de nossas vidas diárias, que pode parecer um tanto insignificante. A força forte, porém, com seus quarks e glúons, envolve cerca de 99,97% da massa que compõe nossos corpos. Se uma pessoa de 60 quilos perdesse todos os seus quarks e seus glúons coesivos nesse exato momento, ela emagreceria imediatamente, alcançando um peso de 18 gramas. E morreria, evidentemente.

Para entender o que a humanidade descobriu até aqui a respeito de nossa realidade, para até mesmo entender do que a nossa realidade é feita, os quarks e os glúons são muito necessários. E isso, parece-me, é um bom motivo para estudá-los. Não obstante o fato de que eles em breve nos permitirão viajar de volta para cerca de um segundo após o nascimento do espaço e tempo.

Agora, como já dissemos, o campo ao qual esses novos companheiros pertencem é denominado campo de interação forte ou campo forte. É um campo quântico, claro; assim, a maior parte do estranho comportamento quântico encontrado antes, envolvendo elétrons e luz – aparecendo e desaparecendo em outra parte, ou fazendo o “tunelamento”, por exemplo –, também se aplica aqui. Mas o que é importante sublinhar é que o campo forte não é igual ao campo eletromagnético, e, no entanto, também preenche o universo inteiro. É outro mar, se você quiser, cujas gotas são quarks e glúons, em vez de elétrons e fótons. E nada impede as partículas de pertencerem a ambos: eletricamente carregados, os quarks pertencem ao campo eletromagnético e também ao campo de interação forte. Eles podem interagir com as partículas mensageiras dos dois: por meio de luz e glúons. No entanto, em distâncias curtas, os glúons são muito mais poderosos que a luz.

Agora, o que dizer desse novo mar? Quais são suas partículas fundamentais?

O campo forte possui seis delas, seis quarks diferentes, que podem surgir do campo forte a qualquer momento, em qualquer lugar, se existir suficiente energia. Porém, somente dois deles são encontrados dentro do centro do átomo. São os assim chamados quarks *up* e *down*. Há dois quarks *up* e um *down* em todo próton do universo; assim, é justo afirmar que os prótons possuem mais *ups* que *downs*, o que talvez explique por que se sentem felizes em sua jaula subatômica.

Contudo, os prótons não são a única prisão de quarks existente, como agora verá no interior de seu átomo de ouro.

Entediado com o hidrogênio, seu minivocê salta de volta para o tampo da mesa da cozinha, onde cortou seu tesouro em pedaços.

Seu átomo de ouro ainda está aí. Você mergulha nele.

Mergulhado profundamente debaixo dos 79 elétrons que giram ao redor dele, seu núcleo é muito maior que o do átomo de hidrogênio. Para corresponder à carga de seus 79 elétrons, encontra 79 prótons. Porém, também há outras esferas indistintas circundando – separando? – esses prótons. São esferas sem carga. Você consegue contar 118 delas.

Sendo eletricamente neutros, denominam-se *nêutrons*. Também são prisões de quarks e foram descobertos por sir James Chadwick, físico inglês que, por acaso, foi assistente do extraordinário Rutherford.³⁷ Em 1935, Chadwick recebeu o Prêmio Nobel de Física por sua descoberta.

No interior de cada próton, os glúons confinam dois quarks up e um down. Os ups possuem a maioria. No interior dos nêutrons, é o contrário: são dois down e um up.

Agora, como todas essas prisões se convertem num núcleo atômico? Por que elas não se afastam umas das outras? Ou sofrem um colapso? Afinal, todos esses prótons têm carga positiva. Eles deveriam se repelir.

Mas isso não acontece. Por quê? Porque o campo forte e suas partículas mensageiras os impedem de fazer isso, embora de um jeito muito estranho. Um jeito residual.

Para entender o que isso significa, seu minivocê decide ousadamente observar de perto os glúons elusivos que guardam os quarks no interior de um próton. Eles estão ali. Na realidade, você não pode vê-los, mas pode senti-los, no modo iogue. Eles aparecem e desaparecem para impedir que os quarks perambulem por iniciativa própria.

No entanto, de repente, algo muito estranho acontece.

Algo partiu. Algo saltou do próton. Mas o que era? Um glúon? Por que não? Eles são guardiões, e não prisioneiros...

Mas não, não era um glúon.

Não um sozinho.

Você aguça sua percepção iogue... E então lá vai você.

Os glúons, se isso acontecer, não partem sozinhos. Eles precisam encontrar outro glúon para fazer parilha. Um amigo. Emparelhando com o certo, eles se convertem em outra coisa...

Você olha ao redor e, bem ali, à sua esquerda, no meio de dois quarks, está

acontecendo de novo.

Um glúon surge do campo do fundo e um amigo dele, outro glúon, faz o mesmo e, agora, eles aderem um ao outro e... Da mesma forma que a luz pode ser transformada num elétron, esses dois glúons transformaram-se em dois quarks! Um dueto quárkico, que não está mais ligado aos outros quarks pelos glúons. Eles se tornaram livres, como um novo ente, para deixar a prisão quárkica a qual pertenceram.

Você os observa partir.

Eles estão se dirigindo direto para uma prisão de quarks próxima. De fato, tornaram-se o mensageiro de outra força, uma força que age não sobre os quarks, mas sobre as próprias prisões de quarks. Quando alcançam uma, transformam-se de novo em glúons e começam a guardar os quarks ali situados...

É graças a tais trocas que os nêutrons e os prótons coexistem no interior dos centros atômicos. Movendo-se de uma prisão para outra, dois glúons convertidos em quarks asseguram que o núcleo atômico permaneça estável. A partícula trocada, ou seja, o dueto quárkico que se move entre as prisões, é denominada *méson*. E a força que ele transporta é denominada *força nuclear forte*. É uma força de atração. E muito forte.

Por ter previsto a existência de mésons muito antes de eles terem sido descobertos em experiências, Hideki Yukawa, físico teórico japonês, ganhou o Prêmio Nobel de Física, em 1949.

Numa dança divertida, a sopa em ebulição de quarks e glúons que pode ser encontrada dentro de todos os prótons e nêutrons também é responsável pela massa perdida que mencionamos muito tempo atrás, a massa perdida que faz as estrelas brilharem.³⁸

No interior das estrelas, como agora bem sabe, os átomos pequenos são fundidos juntos, construindo átomos novos e maiores. Isso significa que as estrelas fundem nêutrons e prótons juntos, e, depois de fundidos, esses nêutrons e prótons não precisam de tantos glúons virtuais para guardar seus quarks (ou mésons, para guardar suas prisões) quanto precisavam quando independentes. É um pouco como quando duas empresas se fundem: algumas pessoas se tornam supérfluas, e são despedidas... No centro da estrela, os glúons, os quarks e os mésons supérfluos também são despedidos. Como eles transportam alguma energia, e como energia é massa, despedi-los reduz a massa do centro recém-fundido. Eis por que todos os centros desenvolvidos por fusão são menos pesados que os fundidos considerados separadamente. Em contraste

com as pessoas que foram demitidas, essa massa perdida é convertida em energia, com a taxa de troca sendo dada por $E = mc^2$, fazendo as estrelas brilharem.

Bem no fundo das estrelas, a energia gravitacional é utilizada para forjar átomos; um processo que também envolve massa sendo transformada em luz e calor, e muitas outras partículas que estão presentes, mas que nossos olhos não veem. Embora a maior parte de nossa realidade esteja oculta de nossos sentidos, tudo está ligado nesse nosso universo.

37 Rutherford, um dos experimentalistas mais impressionantes de todos os tempos, também tinha descoberto que os átomos possuem um núcleo (eu o mencionei antes nessa parte). Chadwick estava trabalhando no Laboratório Cavendish, da Universidade de Cambridge, que Rutherford dirigia.

38 Se você se esqueceu disso, está em Parte I, capítulo 3, página 26.

Capítulo 6

A última força

Até aqui, você tomou conhecimento da existência de dois campos quânticos; a saber, o campo responsável por todas as interações eletromagnéticas e o campo que origina a força mais forte conhecida pela humanidade, o bastante apropriadamente nomeado campo de interação forte, com sua força nuclear forte residual.

De certa forma, essas forças, assim como seus campos, são poderes de construção. Ainda que os ímãs possam atrair ou repelir uns aos outros, a força eletromagnética garante que os elétrons permaneçam ao redor dos centros atômicos. Os elétrons poderiam se afastar ou sofrer um colapso no núcleo. Mas isso não acontece. As pérolas de luz virtuais impedem os elétrons de fazer isso. O campo eletromagnético dá aos átomos sua estabilidade eletrônica e oferece maneiras de compartilhar suas cargas, para construir moléculas, para construir a matéria da qual somos feitos.

A força nuclear forte, por outro lado, cuida dos próprios centros atômicos. Ela mantém os nêutrons e os prótons coesos, construindo o núcleo atômico. Sem isso, todo o núcleo se desfaria, e todos nós nos converteríamos num névoa de prótons e nêutrons. Assim como a Terra e tudo o mais.

E, para fixar tudo isso, a interação forte mantém os quarks confinados no interior desses prótons e nêutrons, ligando-os com glúons que surgem do fundo.

Assim, você se movimentou no interior desses dois campos e viu que as interações de suas partículas e as partículas mensageiras dão ao mundo sua tangibilidade dura, embora elusiva. Viu fótons e elétrons disputarem jogos entre si, e se transformarem uns nos outros. Viu glúons e quarks oscilando dentro dos centros de preciosos átomos de ouro e de simples átomos de hidrogênio, o menor e mais abundante elemento de matéria do universo, aquele

que as estrelas fundem em seus cernes para forjar a matéria da qual você e eu somos feitos.

O hidrogênio, cujo esgotamento, mais cedo ou mais tarde, desencadearia a morte de todas as estrelas do universo...

Refletindo a respeito desse último comentário, subitamente recorda o que acontecerá com o nosso Sol dentro de 5 bilhões de anos, e imediatamente recupera seu tamanho normal, deixando seu minivocê flutuando em outro lugar, num mundo muito pequeno para seus olhos normais enxergarem.

Sua percepção do universo mudou muito desde que você estava preguiçosamente observando as estrelas no conforto da praia ilha tropical. Agora sabe que nada está vazio, que tudo interage com tudo, o tempo todo, nas partes mais profundas dos átomos que foram construídos como resultado de interações extraordinariamente remotas, e permanecem inteiros graças a elas.

Nesse momento, o céu do lado de fora, visto de sua cozinha, de sua cozinha, está ficando vermelho. O Sol está se pondo em algum lugar no oeste, iluminando a base plana das nuvens com cores flamejantes.

Seu braço dói por ter segurado o leite por tanto tempo, mas, agora, enquanto bebe um gole de sua xícara de café com leite (frio), você dá alguns passos para perto da janela, contempla o céu e, de repente, entende melhor o que significa ser parte da família de uma estrela.

Todas as estrelas do universo iluminam e banham seus arredores com luz e partículas, todos subprodutos diretos ou indiretos de sua usina de força de fusão dos núcleos atômicos. E, enquanto suas gravidades – as curvas que criam no espaço-tempo – fazem cada objeto próximo ou passageiro cair na direção delas, esses ventos de partículas e luz sopram para fora, na direção do espaço, na direção do longínquo, irradiando ondulações de campos de fundo invisíveis, que preenchem tudo.

Realmente, o universo é como um vasto oceano, e, assim, alguns engenheiros espaciais (muito sérios) imaginaram construir naves espaciais com velas imensas, para capturar esses ventos solares e impelir suas naves em direção ao universo exterior, como navegadores cósmicos vencendo as ondulações do espaço-tempo sem a necessidade de usar qualquer combustível...

Agora, a noite baixou e você continua imóvel. Está contemplando as estrelas. Não há muitas, pois a poluição luminosa é muito forte. No entanto, agora sabe que as estrelas que vê aqui não são as mesmas vistas na ilha tropical. Nesse

momento, você está coletando os fótons emitidos pelas estrelas concentradas numa parte distinta da Via Láctea. Mas continuam sendo estrelas, isto é, bolas imensas, cuja energia gravitacional está desenvolvendo átomos grandes a partir de pequenos, fundindo seus centros.

De forma bastante interessante, e ao contrário daquilo que nós, seres humanos, estamos acostumados, tudo parece ser uma força da construção lá fora.

Parece, sim, pois você ainda não viu tudo que é conhecido.

Para isso, um terceiro campo quântico é necessário.

Um terceiro mar que preenche o universo inteiro, exatamente como os outros dois, um mar cujas partículas mensageiras fundamentais não são fótons, glúons nem mésons.

E, de algum modo, esse campo pode ser visto como um campo de destruição, um campo que desfaz o que os outros fizeram. É a última das quatro forças que governam nosso universo.

Essa última força também é uma força nuclear: exatamente como a força forte que acabou de descobrir, ela só atua sobre os constituintes dos centros atômicos. Mas é muito mais fraca que a força forte e, por conseguinte, foi denominada *força nuclear fraca*. O campo quântico ubíquo com base em que suas partículas fundamentais e suas partículas mensageiras são construídas é denominado *campo quântico nuclear fraco*. A divisão espontânea dos centros atômicos, um processo conhecido como *radioatividade*, é um de seus atributos.

*

Agora, antes de testemunhar a radioatividade em ação, pode valer a pena lembrar que a radioatividade tirou a vida de muitos de seus descobridores. Sem saber que aquelas luzes invisíveis letais, que lentamente destruíam seus organismos, expunham os cientistas à radiação, eles processaram materiais altamente radioativos com as mãos desnudas... Marie Curie, a incrível cientista francesa, natural da Polônia, a única pessoa a ser agraciada com um Prêmio Nobel de Física (em 1903, pela descoberta da radioatividade) e um Prêmio Nobel de Química (em 1911, pela descoberta de dois novos átomos: rádio e polônio), foi uma das vítimas. Ela pode não ter sabido do motivo de sua morte, mas o que você está prestes a testemunhar é aquilo que ela teria visto se tivesse o conhecimento que temos hoje, juntamente com a capacidade conveniente de se transformar numa mini-Marie.

Enquanto despeja o café frio na pia, sua mente recua para seu minieu e seus

miniolhos dedicam um momento para se adaptar à escuridão.

Você está de volta para perto de seu átomo de ouro.

Está bem na sua frente, um átomo tão forte e sólido que uma energia maior que a da gravidade de uma estrela é necessária para forjá-lo. O ouro não é criado durante a vida de uma estrela, mas durante sua morte explosiva. Quando nosso Sol morrer, ele também criará algum ouro, que, quem sabe, possa, certo dia, ser ostentado no dedo (tentáculo?) de uma futura espécie alienígena.

Quando olha para ele, porém, esse átomo de ouro não parece tão valioso quanto quase toda a humanidade parece acreditar.

Então, por que ele é tão cobiçado?

Ele muda com o passar do tempo? Captura átomos de passagem, para criar moléculas extraordinárias?

Você espera um pouco, para ver se isso acontece.

Mas não.

Nada acontece.

E então lá vai você.

O fato de nada jamais acontecer ao ouro é um dos motivos pelos quais ele é tão valioso. O ouro não enferruja, ou seja, não oxida (o que acontece quando alguns elétrons de um átomo de oxigênio se ligam ao elemento). Não sofre corrosão. E, quando você tem um belo pedaço dele, é o mais dúctil de todos os metais: você pode esticar o ouro e convertê-lo no arame mais longo e mais fino de todos (platina e prata quebrariam muito antes). Junte muitos átomos de ouro, e você também pode facilmente moldar o montante em quase qualquer forma que quiser. E, independentemente de você fazer isso, ele ainda conduzirá eletricidade, significando que um elétron introduzido em uma extremidade de uma comprida cadeia de átomos de ouro seguirá seu caminho ao longo da cadeia e saíra dela na outra extremidade.

Todas essas propriedades excepcionais podem conduzir a aplicações práticas, que talvez nem sempre sejam muito evidentes numa aliança de casamento, mas que são inestimáveis.

Adicione a isso o fato de que o ouro é raro, difícil de extrair e forjado pela morte de uma estrela, e compreendemos por que ele é caro. Vamos deixá-lo aí, porém, pois nada está acontecendo com ele.

Para ver algo diferente, você precisará de outro átomo, e, de forma bastante engraçada, um está passando por acaso.

E é maior.

Até onde pode perceber, possui 94 elétrons girando ao redor de um centro composto de 94 prótons e 145 nêutrons. Duzentas e trinta e nove prisões quárkicas. Ou seja, 42 a mais que o ouro.

Esse átomo é uma forma do elemento infame denominado *plutônio*. E, por causa de suas 239 prisões quárkicas, é denominado plutônio-239. Há outros tipos de plutônio, exatamente como há outros tipos de ouro³⁹ além daquele que achou em sua cozinha. Esses podem ter mais ou menos nêutrons em seus centros, mas sempre possuem o mesmo número de prótons, ou não seriam mais plutônio ou ouro.

E, enquanto o ouro não era muito interessante de observar, algo lhe diz que um fenômeno estranho está prestes a acontecer, espontaneamente, no interior do núcleo do plutônio-239.

Sem hesitar, você se move através de cada camada de seus níveis eletrônicos. Atravessa grandes vazios preenchidos com fótons virtuais. E, então, ali está o núcleo. As 239 prisões quárkicas estão bem na sua frente. Elas estão se mantendo primorosamente sobrepostas por meio da força nuclear forte, mas sua intuição lhe diz para você se dirigir até um dos nêutrons.

Você mergulha naquela direção.

Há dois quarks down e um quark up ali, mantidos firmemente juntos pelos vigorosos glúons.

Exatamente quando você se instala, um dos quarks down é atingido por uma partícula virtual que não viu antes, uma partícula que apareceu espontaneamente só para transformar seu quark down em quark up. O nêutron ao qual ele pertencia acabou de se converter num próton, criando confusão. Agora, o centro atômico inteiro está fora de equilíbrio. O efeito é instantâneo e dramático.

Um sexto sentido lhe diz para buscar abrigo, e seu minivocê sai correndo do centro e das camadas eletrônicas. Então, você vê o núcleo do plutônio se dividir inúmeras vezes, em outros menores, todos eles tentando – mas ocasionalmente falhando – levar alguns elétrons com eles. Em cada estágio do processo, partículas extremamente energéticas são disparadas, incluindo ainda uma outra que você jamais viu antes. Seu plutônio está decaindo. Bem na sua frente. E, agora, todos os produtos desse decaimento estão se movendo rapidamente para longe. Um fogo de artifício que, no fim, queima a si mesmo, a menos que muitos outros átomos de plutônio-239 estivessem por perto. Mas não estão em sua cozinha. Assim tudo rapidamente se aquieta.

Você acaba de testemunhar um aspecto da quarta força da natureza conhecida: a força nuclear fraca, com suas partículas mensageiras virtuais, capazes de converter um quark em outro. Essas partículas mensageiras são denominadas *bóson W* e *bóson Z*.

O que acabou de ver é o decaimento de um átomo em outros menores e mais estáveis. Foi a fissão espontânea de um centro atômico, o próprio oposto de sua fusão. Um *decaimento radioativo*. A *radioatividade* consiste nisso, e a força nuclear fraca é responsável por isso, com seus bósons W e Z para transportá-la.

Há cerca de cem anos, Wolfgang Pauli – o mesmo Pauli que propôs o princípio de exclusão – estudou esse decaimento atômico. Ele não sabia nada a respeito de campos, como você agora sabe, mas, ao comparar o que observou antes e depois de um decaimento radioativo, deu-se conta de que havia alguma energia perdida. Então, ele previu a existência de uma partícula até então desconhecida, que podia ser responsabilizada por levar embora a energia, uma partícula com massa minúscula, uma partícula não transportando carga elétrica, uma partícula tão elusiva que, depois de disparada, movimenta-se rapidamente através de toda a matéria que conhecemos quase desimpedida.

Atualmente, sabe-se que essa nova partícula existe. Você acabou de vê-la. Entre todas as partículas disparadas por meio do decaimento radioativo, inclui-se aquela que você não tinha visto antes. Denomina-se *neutrino*.

Em 1956, Frederick Reines, físico norte-americano, e seus colegas detectaram o neutrino experimentalmente, e Reines recebeu o Prêmio Nobel de Química por isso quase quarenta anos depois, em 1995. Como ele certa vez disse, os neutrinos são a menor quantidade de realidade já imaginada por um ser humano. Atualmente, sabemos que esses neutrinos (há muitos deles) sujeitam-se somente ao campo nuclear fraco e à gravidade. São inteiramente indiferentes aos campos eletromagnético e forte.

Para eles, os átomos realmente são o que pareceram para você inicialmente: vazios.

E isso é uma boa coisa.

Por quê?

Porque, se os neutrinos interagissem com os átomos, estaríamos metidos numa encrenca, pois são produzidos em abundância no interior do Sol.

De fato, muito abundantemente.

Cerca de 60 bilhões de neutrinos atravessam cada centímetro quadrado de sua pele.

Por segundo.

E eles nem mesmo o percebem. Nem um único deles. Por mais irritante que isso possa parecer, eles não são capazes de notar a diferença entre você e, por exemplo, nada. Eles o atravessam. E, depois, atravessam a Terra.⁴⁰ E eles continuam sua jornada na direção do espaço, como se nem você nem o nosso planeta tivessem estado alguma vez ali.

Agora, todos nós aprendemos que a radioatividade é perigosa, e que uma pessoa deve, sempre que possível, fugir de materiais radioativos, tais como plutônio, urânio, rádio ou polônio – e com razão. No entanto, como os neutrinos não são capazes de notar a diferença entre você e nada, eles não podem ser o motivo desse perigo.

O motivo tem a ver com as outras partículas disparadas durante o decaimento radioativo, e felizmente você já está familiarizado com elas.

Quando o centro do átomo decai, ele se divide e pode emitir neutrinos, prisoões quárkicas, elétrons e luz. E os três últimos são perigosos.

O maior consiste em quatro prisoões quárkicas ligadas entre si: dois nêutrons e dois prótons presos numa unidade. Denomina-se *partícula alfa* e, na realidade, corresponde a um átomo de hélio que foi despojado de seus elétrons. Para se tornar um átomo, esse centro, portanto, precisa subtrair dois elétrons de outro lugar, um feito que pode alcançar de diversas maneiras. Pode remover dos átomos próximos (rude), pode compartilhar com os átomos próximos (altruísta) ou pode adotar elétrons errantes (samaritano).

No primeiro caso, o átomo despojado de seus elétrons começa a procurar outros elétrons para si próprio... Quando há criaturas vivas por perto (como nós, como você em sua cozinha), uma química estranha pode acontecer, com os elétrons sendo subtraídos dos átomos da pele, provocando o que se denomina queimaduras por radioatividade. Eis por que as partículas alfa são perigosas.

O segundo tipo de partícula que pode ser disparada por meio do decaimento radioativo é um elétron muito energético, que pode arremessar outros elétrons para longe (levando ao mesmo tipo de perigo), enquanto o terceiro tipo é um fóton muito energético, um *raio gama* – nós o encontramos em nossa jornada inicial pelo cosmos, comentando a respeito de sua frequência energética inacreditavelmente alta.

Um raio gama pode, ao atingir um átomo, despojá-lo de um de seus elétrons, convertendo esse átomo num íon ávido por encontrar outro elétron, provocando queimaduras em nossa pele novamente.

No entanto, os raios gama também são capazes de fazer muito pior.

Nada os obriga a parar na superfície de nosso corpo. Eles podem penetrá-lo e provocar uma devastação local, bem no fundo, não só expulsando elétrons de seu lar atômico, mas também quebrando moléculas, como as de DNA, no cerne de nossas células, mudando, assim, as instruções utilizadas por nosso organismo para criar tudo de que nossos corpos precisam para viver. Em geral, o resultado é câncer e/ou mutações genéticas.

Todos esses possíveis resultados são assustadores. De nenhuma maneira, alguém pode sustentar o contrário. No entanto, também há um lado bom: exatamente como a gravidade, o eletromagnetismo e a interação forte, a radioatividade, apesar de ser uma força de destruição, é um processo natural, que ocorre o tempo todo, em todo lugar, mesmo no interior de seu corpo, num ritmo muito lento. Só se a pessoa se expõe a altos níveis de radiação, ela deve se preocupar.

Realmente, todos devem ser muito gratos ao fato de a radioatividade existir. Ela pode matá-lo, sim, mas sem ela você nem teria nascido. Na Terra, muito abaixo de nós, existem inúmeros átomos que decaem o tempo todo. Menos agora que no passado, mas, ainda assim, o manto da Terra é radioativo. Quando os átomos decaem ali, as partículas que emitem chocam-se com seus vizinhos e geram calor, o próprio calor que contribui para manter nosso planeta aquecido. Sem a radioatividade, não haveria atividade sísmica ou vulcânica. A superfície da Terra teria ficado extremamente fria por bilhões de anos. A vida, como nós a conhecemos, provavelmente não existiria.

A radioatividade quebra os átomos. A radioatividade mata. No entanto, é necessária para aquecer nosso mundo, devolvendo a nós parte da energia que as estrelas armazenaram dentro dos átomos que criaram nosso planeta.

Agora, um último e pequeno comentário antes de deixar você embarcar numa jornada rumo às origens do espaço e tempo: a energia atômica, em geral, por meio da fissão ou da fusão dos centros atômicos, envolve energias extremas, que são o que tentamos coletar, com maior ou menor eficiência, em nossas usinas nucleares. Só podemos esperar que, um dia, essas tecnologias se tornem limpas e seguras, pois seus potenciais são espantosos.

Embora tenham uma má publicidade, e apesar de seu uso injustificável no passado, jamais devemos nos esquecer de que, sem as forças nucleares, não existiríamos. Sem a radioatividade, a vida na Terra seria impossível.

Isto é, a vida como a conhecemos, é claro.

³⁹ Ou hidrogênio ou qualquer outro átomo, na realidade.

40 Isso ocorre durante o dia. À noite, eles ainda atravessam você, mas *depois* de terem atravessado a Terra.

PARTE V

Rumo à origem do espaço e tempo

Capítulo 1

Ter confiança

Quando comecei a me interessar por algo que alguns talvez chamem de física teórica *hardcore*, eu tinha cerca de 22 anos. Havia estudado matemática pura por alguns anos e estava bastante apaixonado por sua beleza. Como Platão, filósofo grego, afirmou cerca de 25 séculos atrás, quando ninguém tinha qualquer pista de como eram os céus: a matemática é a linguagem pela qual os deuses falam com as pessoas.

Quando meu pedido de matrícula para estudar matemática avançada e física teórica na Universidade de Cambridge, na Inglaterra, foi aceito, pensei imediatamente: “Excelente! Tempo para algum pensamento profundo a respeito do mundo real!”

Eu pouco sabia a respeito do que estava prestes a acontecer para mim, da mesma forma que você, possivelmente, não tem uma pista do que está prestes a acontecer nos próximos capítulos.

No verão que precedeu meu primeiro ano em Cambridge, li alguns livros e também artigos dos mestres do passado e do presente, para obter uma sensação mais clara do que a ciência podia ter a dizer a respeito do mundo ao nosso redor. Concentrei-me no mundo quântico. Afinal de contas, como descobrimos na Parte IV, o mundo do muito pequeno situa-se na raiz de tudo o que somos. É aí que encontramos os elementos básicos de tudo o que nosso universo contém. De fato, para utilizar a teoria da relatividade geral de Einstein, precisamos ter a compreensão daquilo que nosso universo contém, ou suas equações não nos dirão o que nosso universo parece em grandes escalas.

Muitos Prêmios Nobel de Física foram concedidos a cientistas por descobertas relativas ao muito pequeno.

Obviamente, senti-me muito excitado acerca da jornada à qual estava prestes

embarcar, e, quando comecei a dominar as teorias desses pioneiros intelectuais, passei a anotar alguns de seus incríveis pensamentos, para ter certeza de que eu estava entendendo bem:

Acho que posso afirmar com segurança que ninguém entende a mecânica quântica.

Richard Feynman, Prêmio Nobel de Física, em 1965

Deus é sutil, mas não é malicioso.

Albert Einstein, Prêmio Nobel de Física, em 1921

Nenhuma linguagem que se presta à visualização pode descrever os saltos quânticos.

Max Born, Prêmio Nobel de Física, em 1954

Aqueles que não ficam chocados quando se deparam com a teoria quântica talvez possam não tê-la entendido.

Niels Bohr, Prêmio Nobel de Física, em 1922

Mudei de ideia. Talvez Deus seja malicioso.

Essas afirmações, dos pais fundadores do campo, seriam suficientes para balançar a crença até mesmo do mais confiante dos estudantes. No entanto, ao lado de duzentos outros rapazes e garotas de todo o mundo, acompanhei até o fim palestras estonteantes e fui aprovado no que, na época, era chamado de Part III Exam of the Mathematical Tripos, possivelmente o exame de matemática mais antigo do mundo. Ainda consistia, predominante, de matemática pura, e a quantidade de novo material que aprendemos foi tão grande que tivemos pouco tempo para realmente pensar a respeito da filosofia daquilo tudo.

E, em seguida, veio o mergulho.

Nove meses após minha chegada a Cambridge, o professor Stephen Hawking, um dos mais famosos (e brilhantes) físicos de nosso tempo, ofereceu-me a oportunidade de me tornar seu aluno de pós-graduação, para trabalhar a respeito de buracos negros e as origens de nosso universo. O pensamento profundo estava prestes a se tornar compulsório. Assim, passei o verão seguinte tendo outra visão de tudo o que poderia descobrir; bem, tudo – e alcancei quase o ponto a que você chegou agora no livro. Com Hawking como orientador, estava prestes a juntar tudo e chegar muito além. Nesse momento, é sua vez de fazer o mesmo.

O que resta ver?

Bem, eis um enigma.

Em 1979, um Prêmio Nobel de Física muito especial foi concedido a três cientistas teóricos: Sheldon Lee Glashow, dos Estados Unidos, Abdus Salam, do Paquistão, e Steven Weinberg, dos Estados Unidos.

Durante anos, os cientistas tentaram entender alguns aspectos peculiares da força nuclear fraca, que você viu em ação recentemente. E Glashow, Salam e Weinberg descobriram algo incrível: o eletromagnetismo e a força fraca são apenas dois aspectos de outra força, outro campo, que existiu há muito tempo. Eles descobriram isso durante os primeiros dias de nosso universo; ao menos dois dos mares quânticos invisíveis que preenchem nossa realidade eram apenas um outrora: o assim chamado *campo eletrofraco*.

Foi uma descoberta extraordinária em si só (por isso, o Prêmio Nobel), mas também abriu caminho para algo muito maior: a perspectiva tentadora de unificar todas as forças conhecidas da natureza em apenas uma única força (e, portanto, uma teoria).

A busca por essa unificação subjaz tudo o que você experimentará de agora

até o fim deste livro. Com esse objetivo em mente, você viajará em direção à origem do espaço e tempo, no interior de um buraco negro e até mesmo fora de nosso universo.

A fim de chegar lá, porém, precisará primeiro imaginar o que fica depois que alguém esvazia um lugar de tudo que contém.

Capítulo 2

O nada não existe

Você ainda está na cozinha.

A noite está escura e tranquila.

Se você achava que o mundo era belo antes, agora ele está totalmente transformado por aquilo que aprendeu em suas viagens. Tudo parece mais profundo, carregado de poder e mistério.

Mesmo sua humilde cozinha.

O ar ao redor está cheio de átomos flutuantes, escorregando pela curva do espaço-tempo da Terra.

Inicialmente, os átomos surgiram nos centros de estrelas mortas há muito tempo.

Os átomos dentro de você, em todo lugar, desintegram-se em decaimentos radioativos.

Sob seus pés, está o assoalho, cujos elétrons se recusam a deixar você passar, tornando-o capaz de ficar de pé, caminhar e correr.

A Terra, o seu planeta, um pedaço de matéria composto de três campos quânticos conhecidos, mantidos coesos pela gravidade, a assim chamada quarta força (ainda que não seja uma força), flutuando no interior e através do espaço-tempo.

Isso tudo parece tão absurdo, ou simplesmente milagroso, que você decide preparar mais café, voltar para a sala de estar e se sentar em seu antigo sofá, aconchegante, sólido e tranquilizador.

Você tenta pôr alguma ordem em todos esses pensamentos que estão passando por sua mente. O significado da vida está escondido em algum lugar lá fora, além do que nós já vimos juntos? E, de fato, o que você aprendeu até agora faz algum sentido?

Antes de se deslocar para lugares ainda mais remotos do que aqueles que viu até aqui, deixe-me dizer uma coisa: desvendar os mistérios do mundo é uma obra em progresso. A ciência pode não ter todas as respostas, embora tenha muitas. Na realidade, depende de quais são suas expectativas, pois devo adverti-lo agora de que o fim pode não fazer mais sentido que o começo. Como Edward Witten, físico teórico norte-americano, afirmou certa vez: “Longe da segurança de sua casa, o universo não foi feito para sua conveniência.”⁴¹

Provavelmente, vale a pena manter isso na mente quando nos lançamos totalmente a mares mais sombrios, pois por mais humilhante que essa afirmação possa ser, oferece-nos toda a extraordinária liberdade de interpretar o que vemos de maneira pessoal. E isso é uma coisa boa. Pois quanto mais pontos de vista diferentes existirem, melhor para a humanidade, e melhor para a ciência.

Agora, como sugeri no fim do capítulo anterior, antes de atravessaremos com confiança as portas do desconhecido, precisamos primeiro ficar à vontade com o conceito que os cientistas denominaram *vácuo*. É a base de como nossa realidade quântica é atualmente entendida pelos físicos teóricos – uma construção mental que nos ajudou a fazer previsões inacreditavelmente precisas, que foram verificadas repetidas vezes por meio de inúmeras experiências distintas. Considere um lugar, uma região, qualquer lugar de nosso universo, e se livre de tudo o que ele contém. E eu quero dizer tudo.

Estranhamente, o que restou não está vazio, embora você limpasse completamente o lugar de tudo o que ele continha.

Isso faz sentido? Dificilmente. Contudo, a natureza não se importa com o que os seres humanos consideram lógico.

Agora, feche os olhos.

Por quê?

Porque algumas coisas ao nosso redor não suportam ser vistas, e o vácuo que você está prestes a encontrar é uma delas.

Para garantir que está pronto, dedique um minuto a relaxar e pensar novamente na viagem de avião de volta para casa, partindo de sua encantadora ilha tropical.

Você talvez se lembre de que adormeceu não muito tempo depois da decolagem. De fato, se tivesse perguntado a seu vizinho de aparência estranha, ele provavelmente teria lhe dito que você, durante a maior parte do voo, roncou bem alto.

Então, o que exatamente aconteceu ao longo do voo, enquanto você dormiu

por oito horas? Que fusos horários cruzou ao longo do caminho? E, de fato, que rota um avião pega no céu quando ninguém está olhando com atenção?

Tudo o que sabe a respeito de seu voo foi o que você viu antes de adormecer e depois de acordar. Observou através da janela e viu quando seu avião decolou da pista do aeroporto de uma ilha distante, e o viu pousar em segurança em seu país de origem. No meio, nenhuma marca de qualquer rota aérea ficou impressa em seu cérebro. Você simplesmente não sabe o que aconteceu.

Agora, e se alguém disser para você que seu avião pegou uma rota muito inesperada? Via Júpiter, por exemplo. Ou através da Terra, como um neutrino, ou para a frente e para trás no tempo? Estou supondo que você teria dificuldade de acreditar nisso.

No entanto, na Parte III, sonhando ou não, você experimentou uma trajetória muito estranha, viajando 400 anos rumo ao futuro da Terra, em oito horas de seu próprio tempo. Assim, precisamos considerar o que aconteceu com mais atenção.

Agora, sabe que, para isso acontecer de verdade, seu avião teria de ter voado extremamente rápido. De fato, precisaria ter se deslocado rumo ao espaço sideral quase à velocidade da luz antes de voltar à Terra, que tinha envelhecido 400 anos.

Na vida real, você é capaz de achar alguns argumentos instigantes contra essa trajetória, ou contra quaisquer rotas estranhas que seu avião talvez tenha seguido, mas: e se eu lhe disser que, enquanto dormiu, seu avião não só voou rumo ao espaço e voltou, mas que, na realidade, também pegou simultaneamente *todos os caminhos possíveis e impossíveis* que levaram de onde e quando adormeceu para onde e quando acordou? Através da Terra, e de volta. Ao redor de Júpiter, e de volta. Todos os caminhos.

Provavelmente, jamais me levaria a sério de novo, certo?

Ótimo.

Isso significa que você finalmente está pronto para dar uma olhada no vácuo.

Seu café, seus vasos, seus sofá, sua casa sumiram.

Você voltou ao mundo o qual só as mentes podem visitar, e é pouco mais do que uma sombra: completamente transparente, mas delineado. Sem ser afetado e sem afetar nada, independentemente do que possa cercá-lo.

O que o cerca, porém, não é inteiramente claro.

Pelo visto, não há nada.

Somente escuridão, em todo lugar, estendendo-se ao infinito.

A esta altura, acostumado com essas mudanças drásticas de cenário, você se desloca delicadamente através daquilo que parece muito um universo esvaziado de tudo o que conteve alguma vez.

Inicialmente, a visão é bastante reconfortante. Mas, em pouco tempo, admita, você se sente entediado. Sem nada melhor para fazer, começa a reconsiderar aquilo que eu acabei de falar a respeito de adormecer num avião.

Um avião, um avião *de verdade*, consegue voar de maneira completamente inesperada? Manter a mente aberta a respeito de diversas rotas sinuosas é uma coisa. Mas voar através do centro da Terra? Ou para a frente e para trás no tempo? Por favor!

Bem, você tem razão. “Por favor!” é a única reação natural a um pensamento tão ridículo.

No entanto, deve manter a mente aberta a respeito disso mesmo assim, pois o que pode parecer absurdo para um avião pode ser muito real para uma partícula.

Então, começemos a pensar a respeito de uma partícula, uma partícula que ninguém está observando. Você a imagina tendo de se deslocar de um lugar a outro, detectada somente nos pontos de partida e de chegada. Agora, a mesma pergunta de novo: se não olhar, que caminho a partícula pega para ir de um lugar para outro?

Sem dúvida, depende...

Mas não, não *depende*. Em relação a um avião, a ideia pode parecer abstrata, mas, para uma partícula, é um fato. Realmente, uma partícula pega *todos* os caminhos que alguém pode imaginar, aparentemente razoáveis ou não, desde que ninguém olhe. As partículas se movem e se comportam como nada que você já viu ou experimentou na vida diária. Provavelmente, vislumbrou isso ao tomar conhecimento do funcionamento interno de um átomo, vendo que os elétrons e tudo o mais não são apenas pedaços esféricos de matéria. Nesse momento, estamos nos aproximando de uma verdade ainda mais profunda: os campos quânticos provocam coisas estranhas nas partículas.

Pertencer a um campo quântico significa que as partículas realmente se dividem em muitas imagens de si mesmas, o tempo todo. E os caminhos pegos por todas essas imagens preenchem cada lugar que existe no espaço e no tempo, com você tendo apenas uma chance, uma probabilidade realmente, de encontrar uma partícula em *um* tempo e lugar específico, sempre que imagina tentar detectar uma.

Pior ainda: antes de uma partícula de matéria ou luz ser detectada, inúmeras

imagens delas mesmas podem se dividir e se tornar outra coisa antes de voltar a ser a partícula que era originalmente. Da mesma forma que a luz pode se tornar um elétron, e vice-versa, todas as partículas de nosso universo podem se transformar em outra coisa quando não estamos olhando. As partículas quânticas são companheiras pequenas e furtivas: tudo o que puder acontecer acontecerá, quando a natureza for deixada sem verificação. E, se não acredita em mim, veja por si mesmo.

Algo está acontecendo na noite interminável do espaço em que você está flutuando: um cubo branco, sem portas, de um aposento está começando a se materializar ao seu redor, e logo se vê dentro do recinto, com as paredes todas cobertas com detectores perfeitamente brancos e extremamente pequenos. Milhões deles.

Bem na sua frente, no meio desse recinto sem portas, um poste metálico vertical com a largura de sua mão se estende do chão ao teto.

A única outra coisa no aposento é uma máquina amarela, que parece um pouco um daqueles aparelhos mecânicos que lançam bolas de tênis. Esse pequeno e estranho robô quase parece estar olhando para você pela extremidade de seu tubo de lançamento.

Aparentemente programado para ser educado, ele diz: “Oi.”

Ele não tem boca, olhos ou ouvidos, mas fala, com uma voz um tanto rouca.

“Oi”, responde você, por via das dúvidas, e começa a fazer uma pergunta.

A máquina o interrompe, explicando que está carregada com partículas zumbidoras, que lançará agora, uma por uma, para o outro lado do recinto.

Se você quiser saber se são partículas de luz ou de matéria, a resposta é que podem ser uma ou outra, pois, para aquilo que você está prestes a testemunhar, matéria e luz se comportam fundamentalmente da mesma maneira.

Aparentemente incapaz de esperar, o robô logo começa a contagem regressiva.

“Três... Dois... Um...”

O tubo emite uma partícula e, um instante depois, um sino soa do outro lado do recinto. Você tem a sensação curiosa de que o robô está bastante satisfeito consigo mesmo.

Você se inclina um pouco para um lado e percebe que um dos detectores de parede ficou preto, atrás do poste metálico.

“Primeira pergunta: como a partícula chegou lá?”, pergunta o robô.

Sentindo-se tranquilo por causa do inexpressivo tom professoral dele, se

desloca e para diante do lançador de bolas. Uma linha reta liga o ponto do qual seu tubo de lançamento disparou a partícula e o detector enegrecido. A linha reta dessa trajetória aparente quase toca o poste metálico, mas não totalmente.

“Esse é o caminho”, declara você, erguendo um dedo para apontar a única direção possível que a partícula pode ter pegado.

“Errado”, responde o robô, simplesmente.

“Como disse?”, exclama você, surpreso.

“Sua resposta está incorreta, independentemente da direção para qual está apontando”, afirma o robô, fazendo-o reconsiderar sua polidez supostamente programada.

“Mas só há um caminho possível! Estou olhando para ele agora.”

“Se confiar em seus sentidos e em sua intuição, então você continuará respondendo incorretamente”, disse a máquina. “Todo ser humano faz isso quando entra pela primeira vez neste recinto. As regras obedecidas pelas partículas quânticas não são iguais às regras que governam sua vida diária. Seus sentidos e sua intuição são imprestáveis em relação às partículas. Esqueça-se deles.”

Por mais rude que pareça a atitude do robô, ele está inteiramente correto. Pois, apesar de sua aparência um tanto humilde, ele cumpre a função neste livro de ser o computador mais avançado do mundo – e da mesma forma que o computador é frequentemente o melhor amigo de um cientista na vida real, ajudando-o a visualizar suas teorias, nosso robô supercomputador virá a ser útil ao longo do restante deste livro.

Ele pode simular qualquer coisa que obedece às leis da natureza como são conhecidas pela humanidade. O recinto branco em que você está, por exemplo, é uma criação do computador. Mas tudo o que acontece no interior do recinto obedece às leis da natureza conhecidas.

Agora, pode parecer que a partícula que nosso robô lançou tenha se deslocado perfeitamente em linha reta, mas as partículas pertencem ao mundo do muito pequeno e, portanto, estão além dos domínios do senso comum. O computador disse que você estava errado, pois o que acabou de acontecer não tinha nada a ver com aquilo que seus olhos podem detectar ou com quão inteligente você é. O computador está falando acerca de natureza, e a natureza é tanto intratável quanto clara nesse ponto: as partículas quânticas não se comportam como bolas de tênis, mas sim como partículas quânticas que são. Para se deslocarem de um lugar para outro, elas pegam *todos* os caminhos possíveis no espaço e no tempo, desde que esses caminhos liguem seus pontos

de partida e seus pontos de chegada. A partícula que o robô disparou literalmente foi para toda parte. Simultaneamente. Para a esquerda e para a direita do poste. E através dele. E para fora do recinto. E para o futuro e de volta ao presente, até o momento em que atingiu um detector na parede.

Agora, não se preocupe: você não precisa necessariamente entender isso. Na realidade, não importa se entende ou não, é apenas a maneira pela qual a natureza funciona. As partículas que ninguém observa se deslocam através de todos os caminhos possíveis que o espaço-tempo pode oferecer. O poste de metal no meio do recinto não muda nada. Na realidade, estava ali somente para chamar a atenção visualmente. Retire-o, e a partícula continua se deslocando à esquerda de onde ele estava e à sua direita.

Os detectores nas paredes, por outro lado, fazem diferença: ao atingir um deles, a partícula acaba se mostrando *em algum lugar*.

Perto de você, o robô amarelo lançador de partículas começa a sacudir e aquecer. Você quer saber se ele talvez esteja prestes a entrar em colapso, mas, antecipando sua pergunta, ele, de repente, começa a falar de novo.

“Tudo está em ordem. Estou desacelerando o tempo. Consome certa energia. Da próxima vez que você piscar os olhos, lançarei outra partícula. Você verá como o recinto pareceria se pudesse testemunhar todos os caminhos que uma partícula percorre para alcançar a parede a partir do tubo de lançamento.”

Sem pensar sobre isso, você inadvertidamente pisca, e o robô, de fato, começa outra contagem regressiva. O fluxo de tempo também começa a desacelerar.

“Três... Dois... Um...”

A partícula deixa o robô num movimento extremamente lento. Inicialmente, parece uma espécie de nuvem felpuda. Deslocando-se de maneira a ficar bem atrás do tubo de lançamento, você então vê a partícula se dividir numa quantidade aparentemente infinita de imagens fantasmas de si mesma, uma onda realmente, uma ondulação se propagando através do campo de fundo ao qual pertence, movendo-se em todas as direções do espaço e do tempo, incluindo à direita e à esquerda do poste, através dele e através das paredes do recinto, dividindo-se em tantas possibilidades quanto sua mente é capaz de imaginar, antes de a partícula subitamente se concentrar em um lugar no outro lado do recinto, acionando outro detector. Um sino toca, o detector enegrece e o tempo recupera seu ritmo normal de fluxo.

O que você acabou de ver, cortesia da simulação de um recinto branco criado

pelo computador, é aquilo que os cientistas acreditam que acontece com as partículas quando ninguém olha para elas. Quando alguém olha, o conjunto inteiro de regras muda. Quando os radares rastreiam um avião durante seu voo, o avião não pode estar em outra posição além da qual foi detectado. Da mesma forma, quando alguém tenta detectar uma partícula, como o detector na parede fez, então a partícula não está mais em qualquer lugar, mas sim em algum lugar. Ao contrário do avião com passageiros, quando ninguém olha, uma partícula realmente está em qualquer lugar.

Aparentemente, isso pode parecer como a árvore que cai numa mata: sem ninguém para ouvir, fez barulho? E, se estávamos nela, ela realmente caiu?

Mas não estamos falando de filosofia aqui. Estamos falando de natureza, a respeito de como se comportam as partículas que nos cercam e das quais somos feitos.

Agora, por que as partículas – natureza – devem se importar se um ser humano as está observando ou não? Bem, diversos cientistas refletiram a respeito dessa questão. E isso levou alguns deles a algumas respostas malucas, que conheceremos posteriormente, na Parte VI. Por enquanto, basta dizer que aquilo que você acabou de testemunhar se mostrou verdade por meio de inúmeras experiências. As partículas estão em qualquer lugar, e, em seguida, não estão mais: na simulação com o robô, os próprios detectores forçaram as partículas que ele lançou a atingir a parede do recinto em algum lugar.

“Se você está confuso, tem razão de estar”, afirma o robô. “Eu lhe mostrei que o próprio ato de investigar a realidade muda sua natureza.”

“Pode repetir isso?”, pede você, com ar de espanto.

“A realidade muda quando você a observa”, repete o robô, num tom monótono. “E você tem razão de estar confuso a esse respeito.”

*

O muito pequeno mundo quântico, ao que parece, é uma mistura de possibilidades.

Os campos quânticos aos quais todas as partículas pertencem são a soma dessas possibilidades, e, de algum modo, *uma* possibilidade é escolhida entre todas as existentes simplesmente pelo próprio fato de *observá-la*, simplesmente pelo próprio ato de *detectá-la*, sempre que alguém procura investigar a natureza da partícula. Ninguém sabe por que ou como isso acontece, mas o

resultado está ali ainda assim. Multiplicidade torna-se singeleza quando você interage com o mundo quântico. Da mesma forma que, do ponto de vista de outra pessoa, todos os pensamentos que pode ter ou não, em algum momento de sua vida, a respeito de um determinado assunto, subitamente ficam reduzidos a um único quando alguém ouve você dizê-lo em voz alta. Isso é o que os detectores no fundo do recinto branco fazem. Eles *forçaram* a partícula que o robô disparou a acabar *em algum lugar*, em vez de se manter em qualquer lugar, despojando-a de sua natureza ubíqua.

Quando as possíveis consequências disso começam a ficar claras, você sente arrepios na pele, ainda que ainda seja apenas uma sombra. Isso significa que, com o equipamento de detecção correto, você talvez seja capaz de criar sua própria realidade? Simplesmente ao procurar detectá-las, você consegue deslocar as partículas – a matéria em si – de uma maneira, em vez de outra, moldando o universo exatamente da forma que quer? Witten afirmou que o universo não era feito para sua conveniência, mas talvez ele estivesse enganado.

Antes de começar a se vangloriar disso, sinto muito dizer que Witten tinha razão, e que seu poder recém-descoberto é uma miragem. Você não consegue moldar o universo, pois, de todas as possibilidades quânticas de que o mundo quântico é feito, é impossível prever qual se tornará real após um olhar de relance. Essa é a parte da magia dos campos que compõem o universo. O mundo quântico transforma o que achávamos que eram certezas em possibilidades, ou probabilidades, para investigarmos com experiências; o resultado delas ninguém pode estimar com total segurança. Exatamente como jogar uma moeda ou um dado. Os cientistas consideraram que essa incerteza estava ligada a algo ausente em seu conhecimento, mas ficou provado que não graças a um célebre teorema publicado em 1964 por John Stewart Bell, físico norte-irlandês. O teorema de Bell permitiu que Alain Aspect, físico francês, mostrasse experimentalmente que a existência de possibilidades, em vez de certezas, é uma propriedade do muito pequeno que simplesmente teremos de aceitar.

Muito bem.

Mas o que tudo isso tem a ver com o vácuo que você deveria investigar? Bem, isso é o que está agora prestes a descobrir.

O recinto branco cheio de detectores desaparece, junto com o poste metálico que estava no meio dele e o robô amarelo, que nem mesmo se deu ao trabalho

de se despedir.

Você está de volta no meio do que parece ser a noite cósmica, sozinho, cercado pelo nada.

Encolhe para seu tamanho de minivocê, e começa a observar a agitação de alguma coisa.

É como se... Como se uma partícula (ou talvez fossem duas, você não tem certeza) simplesmente aparecesse bem na sua frente, antes de desaparecer num sopro de luz.

Não havia nada ao redor, e, então, havia alguma coisa, e, agora, não há mais qualquer coisa.

Estranho.

E agora volta a acontecer. E de novo. E inúmeras outras vezes, em todo lugar.

O que você está testemunhando é a criação aparentemente espontânea de partículas a partir do nada. E, antes de elas desaparecerem por algum motivo, essas partículas percorrem todos os caminhos possíveis permitidos por sua liberdade quântica.

Você pode aceitar a última parte da afirmação. No recinto branco, viu que essa é a maneira pela qual as partículas quânticas não verificadas se comportam. Mas como elas podem simplesmente surgir do nada?

Bem, não é o nada que as cerca. Há campos quânticos ao redor.

Para surgirem, as partículas têm de se apropriar de alguma energia dos campos quânticos. E, como esses campos preenchem todos os lugares do espaço e do tempo, as partículas podem literalmente aparecer em qualquer lugar e em qualquer momento. Esse é o motivo pelo qual não existe essa coisa de vazio verdadeiro, em nenhum lugar do universo.

Você olha mais longe na escuridão e, de repente, como se um filtro tivesse sido removido de seus olhos, toda a verdade disso aparece imediatamente. Partículas fundindo-se em todos os lugares, enchendo tudo, movendo-se rapidamente através de um fundo fervente de espirais flutuantes, partículas virtuais deslocando-se e interagindo mutuamente, aparecendo e desaparecendo em sopros de luz ou energia. Uma exibição espetacular de fogos de artifício ocorrendo em toda parte, não deixando nenhum lugar vazio. Quase exatamente o contrário do que você provavelmente outrora achou que era o “nada” que preenchia o vasto vazio do espaço sideral.

E isso é o que os cientistas denominam *vácuo*.

Isso é o que sobra quando tudo é removido: campos quânticos em seu menor nível de energia possível, com partículas virtuais surgindo espontaneamente deles, movendo-se para todos os lugares e, depois, sendo tragadas pelo esquecimento.

Vou dizer isto mais uma vez: não existe essa coisa de vazio em nosso universo.

Num lugar do qual tudo foi removido, você, de forma razoável, poderia esperar que nada restasse. No entanto, o fato é que, da mesma forma que você não pode subtrair o espaço e o tempo de algum lugar, também não pode subtrair o vácuo dos campos quânticos.

No entanto, se o vácuo não estiver realmente vazio – se o vácuo de um campo quântico é definido por todas as partículas que podem surgir nele –, então uma pergunta bastante válida virá à mente: o vácuo é igual em todos os lugares, ou a natureza dele pode mudar de um lugar para outro? Para utilizar seu devido plural: existem diversos *vácuos*?

Em 1948, Hendrik Casimir, físico holandês, previu que, para um vácuo definido como acima, se tudo isso é um fato real de nosso universo e não apenas uma fantasia teórica, então não só devem existir distintos vácuos, mas também eles têm um efeito muito concreto em nosso mundo. Um efeito que pode ser detectado.

Imagine um muro, montado sobre rodas multidirecionais, separando um recinto cheio de ar de outro cheio de água. Você talvez esperasse ver o muro se mover, empurrado suavemente sobre suas rodas para o lado pela água, em direção ao recinto cheio de ar. Agora imagine duas placas metálicas paralelas, uma de frente para a outra. Se deixadas sozinhas, exatamente como o muro separando os recintos cheio de água e cheio de ar, elas devem se mover: devem se repelir, ou se atrair, por causa da diferença entre o vácuo que delimitam e do vácuo que se situa longe de ambas.

Por quê?

Pelo simples motivo de que existe mais espaço do lado de fora das placas do que no meio delas. Por causa disso, as partículas virtuais que surgem do nada no meio das placas são diferentes daquelas que aparecem do lado de fora, tornando os vácuos diferentes.

Como resultados, as placas devem se mover – e isso acontece, como foi confirmado experimentalmente por Steve Lamoreaux, físico norte-americano, e seus colegas, em 1997. Esse fenômeno é conhecido como o *efeito Casimir*.

O efeito Casimir confirma que o vazio não existe, e vai ainda mais longe, mostrando que tipos diferentes de vácuos existem e podem originar uma força: a força do vácuo.⁴²

Casualmente, você talvez perceba que também acabou de achar a solução para um quebra-cabeça muito, muito difícil.

Como já sabe há algum tempo, todas as partículas de nosso universo são somente expressões dos campos quânticos. São como ondas no mar. São como bolas lançadas no ar. São tanto partículas quanto ondas, nascidas no campo quântico ao qual pertencem, e propagando-se através dele.

Agora, ao explorar o muito pequeno, você se lembra de que reparou que todas as partículas fundamentais que encontrou eram sempre iguais? Que dois elétrons quaisquer eram sempre exatamente idênticos?⁴³

Como isso pode acontecer?

Em sua vida diária, essa perfeição simplesmente não existe. Independentemente do que você faz, independentemente do que observa, constrói ou pensa, não existem dois objetos exatamente, perfeitamente idênticos. Ou pessoas (mesmo gêmeos). Ou pássaros. Ou pensamentos. Jamais. Mesmo se parecem similares, não são idênticos. Então, como todos os elétrons e as outras partículas fundamentais são sempre *absolutamente e perfeitamente* idênticos entre si?

A resposta é que todas as partículas elementares, em todo o universo, florescem a partir dos mesmos entes de fundo que podem engoli-las novamente, a qualquer hora: o vácuo de um campo quântico. Os mares de fundo invisíveis que preenchem nosso universo inteiro.

Todos os elétrons são expressões idênticas do campo eletromagnético: todos surgem de seu vácuo e se propagam através dele. Assim como todos os fótons.

Toda vez que um elétron se torna real, ele desperta de sua letargia fantasmagórica por meio de um “pontapé” no vácuo do campo eletromagnético circundante. Toda vez que um glúon aparece, ele provém de alguma energia dada ou tirada do vácuo do campo de interação forte. Toda vez que o decaimento radioativo ocorre, o vácuo do campo fraco é envolvido e dispara seus neutrinos elementares. E, quanto mais energético é o vácuo, mais partículas elementares podem surgir dele.

Certo, estamos indo bem. Assim, continuemos: parece que todos os campos se comportam do mesmo modo; que todos obedecem às mesmas regras. Agora, e

quanto à gravidade?

Onde a gravidade atua, um campo gravitacional também está em ação, embora esse campo seja diferente, ao menos por enquanto, pois ninguém sabe como ele pode ser um campo *quântico*. Como você verá posteriormente, ninguém sabe como fazer partículas surgirem de um vácuo do campo gravitacional sem criar problemas catastróficos. No entanto, se isso fosse possível, então a gravidade envolveria partículas que, assim como os outros campos, surgiriam do campo gravitacional para transportar sua força. Essas partículas são denominadas *grávitons*. Ainda não foram detectadas, e as curvas do espaço-tempo ainda são a melhor maneira de explicar a ação da gravidade.

Mas mesmo sem essas partículas, e mesmo se talvez não haja *quantum* na natureza, a gravidade é um campo. E isso faz o número total de campos utilizados pela humanidade para descrever tudo que conhecemos até agora ser quatro.

Mas por que quatro?

Por que devem existir quatro campos fundamentais?

Por que não 5, 10, 42 ou 17.092.008 para explicar o comportamento da natureza?

E o que dizer de seus respectivos vácuos? Eles estão coabitando em toda parte sem perceber a presença mútua? Parece estranho, não? A vida não seria mais simples se houvesse apenas um campo?

Seria.

E simplicidade é algo que os físicos teóricos estão sempre muito ávidos de encontrar. Até incita a imaginação deles, e eis por que eles tentaram fundir os quatro campos conhecidos em apenas um.

Um campo para governar todos eles, você pode dizer.

Mais fácil falar do que fazer.

As partículas elementares de cada campo não são as mesmas. E um deles (gravidade) não tem nem sequer partículas detectadas.

E a excitação de um campo dá resultados distintos em relação à excitação de outro. E eles não envolvem as mesmas cargas. E eles não têm as mesmas propriedades: o eletromagnetismo é de longo alcance em seus efeitos e pode ser atrativo ou repulsivo, enquanto a gravidade é só atrativa, e a interação forte é de alcance muito limitado, e...

E mesmo assim...

Para criar uma liga a partir de dois materiais distintos, você precisa aquecê-los.

Aquecê-los em temperatura bastante alta, e eles se transformam em algo inteiramente novo; um novo material que os une.

Para os campos se fundirem, a mesma ideia pode funcionar. No entanto, uma quantidade de energia inacreditável seria necessária – uma temperatura de cerca de um trilhão de graus Celsius é necessária para transformar os campos eletromagnético e nuclear fraco em um único campo.

A temperatura de um trilhão de graus Celsius é algo totalmente fora dos limites da natureza que conhecemos hoje.

No entanto, pode não ter sido sempre o caso.

De fato, essa quantidade imensa de energia *esteve* disponível, em todo lugar, há muito tempo, quando o universo era mais jovem e menor. E, tentando elaborar, teoricamente, como a natureza funcionava naquele tempo, Salam, Glashow e Weinberg conseguiram fundir o campo eletromagnético com o campo fraco, descobrindo, assim, o campo eletrofraco. Eles descobriram que, sob condições extremas, um campo único continha os dois campos que hoje, separadamente, governam os ímãs e a radioatividade.

O próximo passo é unir esse novo campo com o terceiro campo quântico conhecido, o campo da interação forte, o campo que rege como os quarks e os glúons interagem no interior do núcleo atômico. Dessa maneira, podemos criar algo que foi pomposamente batizado de teoria da grande unificação. Para fazer isso, uma energia ainda maior é necessária.

Quão maior?

Uma quantidade estonteante. Tão grande que adicionar um ou dois bilhões de graus Celsius não faria muita diferença.

Agora, como sabemos se tudo isso é real?

Como sabemos se Salam, Glashow e Weinberg não se enganaram? E além de sentir que “um” faz mais sentido que “três” ou “quatro”, como sabemos que realmente há uma teoria da grande unificação esperando para ser descoberta?

Pela razão que unificar os campos mutuamente cria um novo campo, os físicos previram que esse novo campo deve ter suas próprias partículas fundamentais e partículas mensageiras. Para testar isso, eles construíram aceleradores de partículas em que as partículas já existentes são atiradas umas contra as outras. Dentro desses aceleradores, não só estão as partículas decompostas, mostrando-nos do que são feitas; a tremenda energia ao redor da colisão também excita qualquer campo que se situa dormente em nosso universo.

A energia máxima alcançada ao redor do impacto dessas colisões, em 2015, corresponde a cerca de 100 trilhões de graus Celsius. Isso pode parecer muita energia, mas vale lembrar que, nesse caso, estamos falando a respeito de um acelerador de *partículas*. Não se aceleram vacas ou planetas, mas sim partículas minúsculas. Em termos reais, a energia produzida por essas colisões minúsculas mal forneceria energia para o voo de um mosquito. Localmente, porém, a energia liberada é imensa. E, exatamente como Salam, Glashow e Weinberg previram, partículas inteiramente novas (especificamente, os bósons W e Z) surgiram – partículas que só fazem sentido quando consideradas da perspectiva da força eletrofraca.

Não sei quanto a você, mas tais feitos sempre me impressionam.

Agora, o que dizer do papel da gravidade em tudo isso? Para converter os quatro campos em um, a gravidade deve desempenhar um papel; então, por que omiti-la? Responder a essa pergunta (complicada) será o objetivo de toda a Parte VII.

Mas não seja impaciente, pois, com o que viu até agora, você aprendeu quase tudo o que há para saber a respeito da matéria da qual é feito, com uma grande exceção: sua massa.

Posto desse jeito, pode querer saber por que não soube a respeito disso antes: parece ser uma questão muito importante, não?

Assim, de onde a massa vem?

As estrelas forjam grandes núcleos atômicos em seus centros, como você sabe, a partir de pequenos núcleos.

Então, as estrelas também criam massa?

Não, não criam.

Na realidade, fazem o oposto.

Ao expelir os glúons que se tornaram supérfluos durante o processo de fusão, os nêutrons e os prótons perdem parte de sua energia e, portanto, de sua massa, como prescrito pela fórmula de Einstein: $E = mc^2$.⁴⁴ Essa é a origem da energia que faz o Sol brilhar. Você viu isso acontecer. Mas isso também lhe diz outra coisa: se os núcleos atômicos perdem massa ejetando seus glúons, significa que os glúons *eram* essa massa. Quer dizer que parte da massa dos átomos vem da própria existência de sopas de glúons virtuais, que mantêm os quarks aprisionados. De fato, quando os cientistas consideraram isso atentamente, deram-se conta de que essa “energia de sopa de glúons” presente no interior de todos os nêutrons e prótons de nosso universo é responsável não por apenas um

pequeno pedaço de massa, e sim por um imenso pedaço de massa da matéria que conhecemos. Um imenso pedaço. Mas não todo ele.

Isso não nos diz, por exemplo, por que os quarks e os elétrons são massivos. Ou *como* eles se tornaram massivos, já que eles eram desprovidos de massa antigamente.

Salam, Glashow e Weinberg demonstraram que, há muito tempo, quando nosso universo extremamente jovem se expandiu e esfriou, o campo eletrofraco ramificou-se nos campos eletromagnético e fraco. No entanto, o que eu não disse antes a você é que, para isso ter acontecido, outro campo teve de aparecer.

Outro campo quântico, com suas próprias partículas mensageiras e tudo o mais.

Essas partículas mensageiras não podem estar transportando nenhuma das forças que você já conheceu, e não há nenhuma outra força que explique... Então, o que fazem?

Bem, elas deram uma massa para algumas partículas e deixaram outras desprovidas de massa. Os fótons e os glúons, por exemplo, não sentiram sua presença e ainda não sentem. Podem viajar através de seu campo sem percebê-la. Assim, permaneceram desprovidos de massa, e ainda hoje viajam à velocidade da luz.

No entanto, os quarks, os elétrons e os neutrinos perceberam sua presença e se tornaram massivos. Dessa maneira, não conseguem mais alcançar a velocidade da luz.⁴⁵

Novamente, como sabemos que isso é válido? Como sabemos que um campo misterioso é responsável pelas massas dessas partículas?

Bem, como todos os campos, esse novo campo deve ter suas próprias partículas fundamentais.

Como esperado, porém, elas não são fáceis de ver ou detectar.

De acordo com cálculos, para esse campo ser acordado e gerar suas partículas fundamentais, uma quantidade significativa de energia é necessária – até mais do que para o próprio campo eletrofraco. No entanto, em 2012, por mais incrível que pareça, cientistas conseguiram fazer isso no LHC, o poderoso acelerador de partículas do Centro Europeu de Pesquisa Nuclear, perto de Genebra, na Suíça.⁴⁶ Eles detectaram uma partícula fundamental pertencente a esse campo. Era a peça perdida do quebra-cabeça: as origens de toda a massa

conhecida de nosso universo, seja devido aos glúons ou não, se tornaram conhecidas.

De fato, isso confirmou que os físicos tinham seguido o caminho certo desde o princípio.

A mídia batizou essa partícula detectada de *partícula de Higgs* (embora possam existir muitos tipos distintos de partículas de Higgs), e o campo da qual foi extraída é conhecido como *campo de Higgs* ou *campo de Higgs-Englert-Brout*. Em 2013, Peter Higgs, físico teórico britânico, e François Englert, físico teórico belga, receberam o Prêmio Nobel por essa descoberta (que eles previram mais de quarenta anos antes, com Brout, que, infelizmente, morreu em 2011).⁴⁷ Em resumo, eles descobriram como parte da massa passou a existir, há 13,8 bilhões de anos, quando nosso universo resfriou. Um feito impressionante para eles, e para a humanidade.

Como essa descoberta ganhou as manchetes, pode ser digno de nota salientar de novo que o campo de Higgs não é responsável pela massa de *tudo* da qual somos feitos. Apenas parte. A maioria da massa dos nêutrons e dos prótons vem, como mencionamos acima, da força que confina os quarks em seus limites, a partir da sopa de quarks-glúons que se situa lá dentro. Se, de repente, o campo de Higgs fosse desligado, então os quarks se tornariam desprovidos de massa, e nós morreríamos. No entanto, a massa do próton e do nêutron pouco mudaria.

Agora que o papel do campo forte em nosso ser massivo é confirmado, agora que sabe de onde vem toda a massa de toda matéria que conhecemos, volte a pensar em todas aquelas partículas que você viu surgindo no vácuo, mais cedo neste capítulo. Você as viu... Mas não devia. A natureza não deixa as partículas aparecerem assim sem pagarem um preço. Esse preço, como agora está prestes a ver, é a existência de um novo tipo de matéria denominado *antimatéria*.

⁴¹ Edward Witten é um dos pais da assim chamada *teoria das cordas*, que você encontrará no fim da Parte VII; o primeiro e único físico agraciado com a Medalha Fields (na matemática, o equivalente ao Prêmio Nobel).

⁴² À medida que nossos aparelhos eletrônicos se tornam cada vez menores, os engenheiros terão cada vez mais de levar em consideração esse efeito.

⁴³ E isso também é verdade para quarks, glúons, fótons e todas as outras partículas fundamentais de todos os campos quânticos.

44 Lembre-se: quanto mais prótons e nêutrons existirem nos núcleos dos átomos, menor quantidade de glúons aprisionadores será necessária pelos quarks para que sejam mantidos dentro dos limites de suas prisões.

45 Neutrinos de fato possuem massa, embora esta seja tão insignificante que passou despercebida por todos até que a engenhosidade excepcional dos físicos japônês Takaaki Kajita e do canadense Arthur B. McDonald provaram sua existência. A descoberta rendeu a ambos o Nobel de física em 2015.

46 LHC corresponde a Large Hadron Collider (Grande Colisor de Hádrons). Todas as partículas que sentem o campo de interação forte são denominadas *hádrons*. Os prótons são hádrons, e, basicamente, o LHC faz os prótons colidirem de maneira muito energética.

47 O Prêmio Nobel é concedido somente a cientistas vivos.

Capítulo 3

Antimatéria Durante quase toda a história da Terra, os seres humanos desconheciam a maior parte de sua superfície. Atualmente, temos acesso fácil a imagens de satélite de todo o nosso planeta, mas, um tanto recentemente, alguns séculos atrás, quando apenas algumas manchas dos solos europeu, americano e asiático tinham sido cartografadas pelas pessoas que viviam ali, nenhuma imagem abrangente do mundo prevalecia. Portanto, exploradores de diversas civilizações tiveram de deixar a segurança de suas costas e navegar em meio a tormentas para descobrir o que existia além de suas terras natais. Uma após outra, eles descobriram terras sobre as quais nenhum membro da raça humana tinha pisado. Também descobriram outras civilizações. Pequenos pedaços de rocha cercados por água passaram a

ser chamados de ilhas. Os grandes, de continentes. Cada descoberta ampliou o domínio da humanidade e, ao mesmo tempo, tendeu a fazer nossos antepassados compreenderem um fato muito simples: todos nós vivemos sobre a superfície de uma bola inacreditavelmente rica, mas bastante pequena, que se desloca através de um universo imenso.

Décadas se passaram.

Numa mistura de violência, cobiça e curiosidade, a Terra ficou mais bem conhecida; gradualmente, o desconhecido deixou de ser algum lugar além do horizonte e virou qualquer lugar acima de nossas cabeças. O espaço tornou-se o novo mistério que todos podiam admirar, simplesmente erguendo os olhos. No entanto, as distâncias lá fora são desconcertantes. Enquanto este livro está sendo escrito, satélites artificiais foram enviados a centenas de milhões de quilômetros de distância da Terra, para tentar descobrir as origens da água e talvez dos elementos básicos da própria vida, em nosso planeta. A exploração não é mais apenas uma questão de enviar seres humanos em aventuras perigosas. Os robôs fazem isso por nós. Contudo, como a excitação a respeito da viagem interplanetária está em alta de novo, é possível, no início do século XXI, ficar na Terra e ainda ser um explorador?

Claro que é.

Podemos ter por meta o fundo dos oceanos, um ambiente tão hostil para nossa tecnologia (sem falar em nossos corpos) que menos gente mergulhou ali do que colocou os pés na Lua.

Ou podemos ter uma abordagem totalmente diferente, e fazer ciência.

Embora a ciência possa não ser tão glamorosa quanto navegar uma caravela ou pilotar uma nave espacial, pode transportá-lo para *qualquer lugar*. Desde o fundo dos mares até os limites de nosso universo visível. E além disso. Como provavelmente percebeu enquanto lia este livro, sua mente pode levá-lo a

lugares proibidos para seu corpo e para lugares onde ninguém nunca esteve. Ao se aprofundarem na natureza do espaço e tempo, ou no comportamento quântico das partículas e da luz, dois leitores deste livro não terão percorrido exatamente a mesma jornada – nem terão imaginado as mesmas coisas. Ao criar galáxias e partículas de luz virtuais em sua mente, você ingressou no mundo da pesquisa teórica, um mundo sem limites.

Ninguém nunca sabe antecipadamente em que direção uma ilha desconhecida ou um continente desconhecido podem ser descobertos. E muitos exploradores devem fracassar, a fim de preparar o terreno para uma grande descoberta. De fato, a sorte existe, mas não é confiável. No entanto, basear-se em descobertas passadas é. O mesmo é válido em relação à ciência, e a descoberta da antimatéria seguiu esse caminho antigo, pioneiro. O gênio de um homem abriu os olhos de todo o mundo para o seguinte fato surpreendente: a matéria da qual somos feitos, a matéria que compõe os planetas, as estrelas e as galáxias, *é apenas metade da matéria que existe* – e ele não descobriu isso por meio da mera sorte. Ele se baseou no que tinha sido feito antes dele. Explicitamente: no trabalho de Einstein a respeito de como as coisas se movem quando estão muito rápidas e das curiosas maneiras que as partículas quânticas se comportam. Esse homem foi Paul Dirac. Ele criou a ideia do campo quântico e, em consequência, descobriu a antimatéria. Dirac foi um cientista britânico que, entre 1932 e 1962, ocupou a Cátedra Lucasiana de Matemática, na Universidade de Cambridge, uma das mais prestigiosas cátedras científicas do mundo. Isaac Newton a ocupou entre 1669 e 1702, assim como Stephen Hawking, entre 1979 e 2009.

Então, o que é a antimatéria?

Você já sabe o que $E = mc^2$ significa: a massa pode ser convertida em energia, e vice-versa. Com uma taxa de troca bastante alta. E, como acabou de ver no capítulo anterior, a energia pode ser apropriada por um curto período de tempo do vácuo, dos campos, para criar partículas.

Agora, de volta ao seu minivocê.

Você ainda está num universo esvaziado, cercado por um vácuo – especificamente um vácuo do campo eletromagnético.

Bem na sua frente, um elétron surge disso.

Por quê? Porque ele pode. Assim, vê um elétron aparecer. *Estalar*. Exatamente assim.

Um instante atrás, não havia nada, exceto o vácuo. Agora, há um elétron, e o

elétron possui uma massa. O próprio fato de ele ter aparecido significa que alguma energia dormente foi transformada nessa massa. É $E = mc^2$ em ação. Fácil assim.

No entanto, o elétron também tem uma carga elétrica. O que pede a pergunta: de onde vem essa carga elétrica?

A massa vem da energia, e a massa e a energia são equivalentes; assim, o surgimento da massa como resultado da energia que foi apropriada é um processo de equilíbrio. É apenas uma mudança de energia de uma forma em outra. Contudo, a carga elétrica é um problema completamente diferente. Após o surgimento do elétron, uma carga elétrica negativa também aparece. Antes, não havia nenhuma. Depois, há uma. E isso, sem dúvida, não é aceitável. Como mencionei no fim do capítulo anterior, você não pode criar algo do nada sem ter de pagar um preço por isso. Isso nunca acontece na vida real – posso ouvi-lo suspirar –, e, para variar, é igual no mundo quântico.

Então, o que fazemos com essa carga? Simplesmente fazemos vista grossa para isso?

Não podemos fazer algo do tipo, pois existe muito disso. Cada elétron do universo carrega uma carga, e muitas outras partículas fundamentais também.

Assim, de onde vem a carga?

Bem, como muitas vezes a resposta mais fácil é a certa, aqui está ela: um elétron nunca aparece sozinho. Deve aparecer ao lado de uma partícula que é idêntica a ele, exceto sua carga, que é oposta. Essa partícula é denominada *antieletron*.

Foi introduzida de modo que as cargas de todos os pares elétron-antieletron que foram criados resultassem em zero. Sem necessidade de invocar mais $E = mc^2$ ou algo mais. Esse fenômeno não viola nenhuma lei: a carga total era zero antes de o elétron e o antieletron aparecerem; posteriormente, ainda é zero.

Isso é o que Paul Dirac, de algum modo, descobriu de maneira brilhante.

“E daí?”, você pode se perguntar, e eu não o julgaria por isso. Bem, na época, não se tinha conhecimento da existência de uma partícula que é exatamente igual a um elétron, com carga oposta. Ninguém tinha visto um antieletron.

Atualmente, nós os detectamos em todos os lugares.

O processo pelo qual um elétron e seu “antieu” aparecem no nada é denominado *produção de par* partícula-antipartícula, e o processo oposto também existe: quando um elétron se encontra com um antieletron, eles se *aniquilam*, eles desaparecem, *puff!* Somem, com a massa transformada de novo

em energia, em luz, num instante.

Os elétrons e seu antieus são produzidos a partir do campo eletromagnético, e eles se fundem de novo ali quanto se aniquilam.

Agora, como os elétrons existem por sua própria conta e como foram criados a partir do campo eletromagnético durante a produção do par elétron-antielétron, conclui-se que os antielétrons também devem existir por sua própria conta. E realmente existem. Mas eles não são encontrados em toda parte.

*

Em 1928, Dirac chamou o antielétron de um “buraco no mar”, com o mar sendo o que nós agora chamamos de campo eletromagnético quântico, pois corresponde a alguma carga que estava ausente.

Seu “buraco”, o antielétron, foi descoberto experimentalmente cinco anos depois, em 1933, e Dirac recebeu o Prêmio Nobel de Física naquele ano, por sua ideia extraordinária. Sua teoria abrange todos aqueles campos que você viu em toda parte desde que começou a explorar o mundo do muito pequeno e descobriu a antimatéria.

Foi Carl D. Anderson, físico norte-americano, que realmente *detectou* os antielétrons de Dirac pela primeira vez. No entanto, em vez de chamá-los de antielétrons, Anderson lhes deu um novo nome: *pósitrons*; nome que ainda é usado hoje em dia. Três anos depois, em 1936, Anderson ganhou o Prêmio Nobel por seu trabalho de detetive.

Com isso, a antimatéria nasceu.

Mencionei anteriormente que metade de toda a matéria era antimatéria. No entanto, se existem só antielétrons, então ele não é a metade de *tudo*. O que dizer a respeito de antiquarks, antiluz e antiglúons?

Bem, o que é válido para o elétron é válido para todas as partículas.

Todas elas possuem seu antieus.

Os antiquarks existem, assim como os antineutrinos e os antifótons. Contudo, algumas partículas, aquelas que não transportam carga, podem jogar dos dois lados e ser suas *próprias* antipartículas. A luz é um bom exemplo: como os fótons e os antifótons não transportam carga, são idênticos.

Então, por que não vemos todas as outras antipartículas ao nosso redor, em qualquer lugar que olhamos?

A resposta é que elas *estão* ali, ao nosso redor, ao seu redor, mas não em grandes quantidades, pois, sempre que uma surge, só vive por pouquíssimo tempo. Lembre-se: o choque entre antipartículas e suas partículas equivalentes irá aniquilá-las imediatamente, fazendo-as desaparecer num sopro de energia e luz, de acordo com $E = mc^2$.

Em outro lugar do universo, porém, um mundo inteiro pode ser construído de antimatéria. Um antimundo, se você preferir. Ninguém sabe se esse antimundo existe, mas, se existir, e se você por acaso acabar ficando diante de alguém como você no espaço sideral algum dia, não dê um aperto de mãos. Você e seu antivocê se tornariam uma bomba e explodiriam. Violentamente.⁴⁸

No entanto, há alguma antimatéria por perto. Mesmo dentro de você, nesse exato momento.

Toda vez que ocorre um caso de decaimento radioativo, alguma antimatéria é criada, mas se aniquila com sua matéria correspondente e se torna um raio de luz tão poderoso que, em geral, passa rapidamente através de seu corpo, sem que você, ou qualquer pessoa, perceba.

Seus olhos não conseguem enxergar esses raios, pois, como discutimos anteriormente, seus olhos nunca precisaram desenvolver a capacidade de detectá-los. Contudo, a tecnologia consegue ver o que seus olhos não conseguem, e alguns engenheiros perspicazes conseguiram transformar essa descoberta em eficientes aparelhos médicos de diagnóstico e pesquisa. Os aparelhos de PET são um exemplo. São utilizados em hospitais. PET corresponde a Tomografia por Emissão de Pósitrons. Os médicos injetam “traçadores” líquidos no corpo do paciente, que são radioativos e emitem um pósitron quando decaem. Então, os pósitrons se aniquilam com os elétrons pelo caminho, convertendo-se em poderosos raios gama, que são detectados fora de seu corpo pelo aparelho de PET, para reconstruir uma imagem tridimensional relativa ao funcionamento de seu corpo. É brilhante.

Tudo bem.

Agora, já sabe dos campos e de seus vácuos.

Já sabe de sua possível unificação.

Já sabe de massa, cargas e antimatéria.

E isso significa que você está pronto para viajar além do que viu na Parte I, para o Big Bang, e ainda mais além, para as origens do espaço e tempo.

Assim, se eu fosse você, respiraria fundo antes de virar a página.

⁴⁸ Quão violentamente? Bem, de acordo com $E = mc^2$, para liberar cerca de três vezes mais energia que a

bomba atômica lançada sobre Hiroshima, precisamos somente de um *único grama* de antimatéria aniquilando sua matéria correspondente. Portanto, um encontro de setenta quilos entre você e seu antivocê seria o equivalente a 210 mil bombas atômicas. Tanto quanto o aperto de mão que você tem ali.

Capítulo 4

O muro além do muro

Provavelmente, durante anos, sem pensar a respeito, você admitiu como certo, de maneira um tanto inconsciente, o fato de que o nosso universo é predominantemente vazio e inteiramente fixo e constante. Ao contrário de nossos antepassados, talvez tenha ouvido falar a respeito do Big Bang, mas talvez nunca tenha de fato refletido a respeito do que essa expressão pode realmente *significar*.

Decerto, sob vários aspectos, somos todos como aqueles peixes nadando no mar. Exceto, como você agora sabe, que não estamos nadando num mar feito de água, mas sim em muitos mares que nosso amigo Dirac mapeou, mares que são denominados campos e que preenchem o universo inteiro; campos dos quais somos uma expressão variada e bastante complexa.

Pensando a esse respeito, considera que isso, até certo ponto, faz sentido, que tudo se torna muito mais fácil de entender dessa maneira: tempo, massa, velocidade, distância, tudo entrelaçado dentro desses campos.

O universo é imenso. Volumes inacreditavelmente amplos se estendem entre pares de estrelas, galáxias, aglomerados de galáxias quaisquer. No entanto, não existem vazios. Há somente campos, permitindo que objetos distantes interajam por meio de uma troca de partículas, suas assim chamadas partículas mensageiras, sem jamais tocarem umas nas outras.

Os campos ligam tudo a tudo.

Há algo quase tranquilizador nesse pensamento.

*

E quando está prestes a retroceder ao longo de toda a história de nosso universo, até o nascimento do espaço e tempo, você pode se perguntar: ao longo da história humana, será que todos aqueles xamãs, gurus e alucinados

que gritaram, bradaram, cantaram, escreveram, pintaram, dançaram, ao longo das gerações, que “Um é tudo e tudo é um” tinham razão?

Bem, num sentido forçado, talvez.

Contudo, eles seguramente não sabiam *por quê*.

Porém, nosso robô-supercomputador sabe, e ele reapareceu.

Mais uma vez a máquina amarela de lançamento de bolas de tênis está diante de você. Ainda não tem rosto e lança um olhar vazio para você com seu tubo de lançamento de partículas, mas agora sabe que não vale a pena enxergá-la “simplesmente” como uma máquina mecânica.

Sentindo-se forte e animado com a confiança proporcionada por todo o conhecimento que acumulou até aqui, você prepara sua mente para se estender de novo, para imaginar toda a história de nosso universo.

A voz metálica ressoa através do vazio:

“Você está pronto?”, pergunta o robô.

Você sabe que ele vai levá-lo à origem do espaço e tempo, mas ele não lhe dá tempo de responder, e, um instante depois, está com ele no céu. Acima de uma casa. Sua casa.

O robô-computador o levou de onde você estava para acima de sua cidade natal.

E vocês agora estão se movendo rapidamente para cima.

Você cruza as diferentes camadas da atmosfera de nosso planeta e alcança o espaço de novo, onde você se instala acima de seu mundo de origem, para encarar o espaço sideral.

“Vou fazer você voar através da melhor simulação já feita”, informa o robô. “Quando programado, como estou, para obedecer às leis da natureza desvendadas até agora, mesmo os supercomputadores mais poderosos da Terra se esforçam para alcançar o que você está prestes a ver.”

“Então, vamos!”, exclama você, sentindo a excitação da jornada crescer, ansioso para ir além do que pode ser visto e para cruzar todas as camadas intercaladas de passados que se empilham ao redor da Terra.

Você sabe que, se quisesse alcançar uma estrela normalmente, com o corpo e não com a mente, teria de passar algum tempo viajando, e a estrela não estaria como está *agora* quando alcançá-la. Ele teria evoluído. Da mesma forma que, se quisesse viajar para Nova York agora, você levaria algumas horas para chegar lá. A Nova York que você alcançaria seria diferente da Nova York que estava lá quando iniciou a viagem. As pessoas, os carros, as nuvens e os pingos de chuva, nada estaria mais no mesmo lugar.

Ao viajar para uma estrela distante, numa galáxia distante, a diferença seria ainda maior. Até você alcançar seu destino, o universo teria se expandido. A radiação cósmica de fundo em micro-ondas, a temperatura geral de nosso universo, seria mais baixa, e a superfície de última difusão estaria ainda mais longe. Viajando normalmente, por mais rápido que fosse, você nunca alcançaria o passado.

Assim, como a simulação do computador pode impeli-lo para o passado – e para o passado bastante distante desse passado?

Rapidamente, a resposta desponta para você: para estar no universo quando a infância dele desabrochou, para ver isso acontecendo, você não deve se mover. Deve só deixar o tempo correr para trás, e isso é exatamente o que acontece.

Sem se mover, você começa uma nova jornada, viajando para trás no tempo, através da história de nosso universo, para alcançar o Big Bang e mais além, do ponto de vista de onde está.

Mostrando uma sensibilidade que você não esperava dele, o robô-computador gentilmente desaparece, para que a presença dele não atrapalhe sua visão.

Num piscar de olhos, você está no passado, há 7 milhões de anos.

A superfície de última difusão – a superfície que delimita o fim do universo visível como visto da Terra – já está um pouco mais perto, e está preenchida com uma radiação cósmica de fundo em micro-ondas um pouco mais quente. Mas 7 milhões de anos não é muito, em comparação com a história de 13,8 bilhões de anos de nosso universo, e nada lá fora no céu está especialmente diferente de um momento atrás. Porém, a Terra debaixo de você está: não há cidades, nem luzes de rua cintilando. Os primeiros seres humanos estão começando a se diferenciar dos grandes primatas. Seus ancestrais distantes são bastante peludos, caçando animais. De fato, a humanidade ainda tem de progredir muito...

Outro piscar de olhos, e você está 65 milhões de anos no passado.

Os dinossauros acabaram de ser exterminados devido a uma mistura de erupções vulcânicas violentas e uma colisão cataclísmica com um asteroide de dez quilômetros de largura, deixando apenas pequenos mamíferos vivos, alguns dos quais, algum dia, após muitas evoluções sucessivas, se tornaram os ancestrais peludos que você acabou de ver, e, depois, nós.

Outro piscar de olhos e você está há mais de 4 bilhões de anos.

A Terra acabou de ser atingida por um planeta do tamanho de Marte, que tirou um pedaço dela, para criar a Lua. A radiação cósmica de fundo em micro-ondas está começando a ficar mais quente, e a superfície de última difusão agora parece mais próxima do que antes. O universo visível inteiro, como visto no período em que você se encontra, representa menos de 70% do tamanho que será em 2016.

Você retrocede mais 2 bilhões de anos.

O universo visível tem menos da metade do tamanho do que aquele em que você iniciou sua jornada. A Terra ainda não existe. Em seu lugar, as estrelas estão morrendo bem na sua frente; explosões extraordinárias que espalham a matéria da qual elas eram feitas pelo espaço sideral. Em poucas centenas de milhões de anos, essa poeira e esses detritos se reunirão em nuvens imensas, e a gravidade impelirá a formação de ao menos uma nova estrela, o Sol, e seus planetas.

*

Outro piscar de olhos, e você está 5 bilhões de anos antes do surgimento da Terra; 9,5 bilhões de anos antes de você nascer.

O universo visível tem menos de 25% do tamanho que terá em 2016. A superfície de última difusão está muito mais próxima. Entre você e esse muro, as galáxias estão se formando ao redor de alguns buracos negros gigantes, às vezes se encontrando em colisões de magnitude inimaginável.

Outro piscar de olhos e você está há 13,7 bilhões de anos.

Você ainda está onde a Terra se encontrará algum dia, mas o universo visível, o universo que o cerca, tem agora menos de 0,5% do tamanho do que aquele em que você iniciou sua jornada. Está na Idade das Trevas de nosso universo.

A Idade das Trevas para a qual viajou na Parte I deste livro era fria, porque, naquela ocasião, você voou através do que ela parecia como vista da Terra em 2016, após mais de 13,7 bilhões de anos de expansão.

Há 13,7 bilhões de anos, porém, as coisas não eram frias nem escuras. E você está aí agora.

As primeiras estrelas ainda não tinham se inflamado. Assim, nada da matéria

que você é capaz de ver tinha sido processada por meio da fusão nuclear nos centros das estrelas. Portanto, está cercado pelos menores átomos que podem existir: hidrogênio, principalmente, e hélio. E a radiação que brilha em toda parte – a radiação cósmica de fundo em micro-ondas – também não é a radiação em micro-ondas. Você pode vê-la com seus olhos. É a luz que originalmente preencheu nosso universo, uma luz que brilha vivamente em qualquer lugar, uma luz que só se tornará radiação em micro-ondas muito tempo depois, após diversos bilhões de anos de expansão de nosso universo.

Outro piscar de olhos, e você está 100 milhões de anos antes, ou seja, há 13,8 bilhões de anos. A superfície de última difusão, a superfície no fim do universo visível, está agora a um minuto-luz de distância de você, significando que seu universo visível está apenas a um minuto-luz de se ocultar, menos de um oitavo da distância separando a Terra e o Sol.

O universo inteiro ficou transparente por apenas sessenta segundos.

E está quente.

Três mil graus Celsius, em todo lugar

Ainda é a Idade das Trevas, mas tudo ao redor está tão luminoso que você se pergunta se a descrição realmente se encaixa.

Você faz uma pausa ali.

Num momento, o computador começará a retroceder no tempo ainda mais, embora num ritmo mais lento, e você ingressará num lugar estranho, literalmente invisível. Um minuto a mais no passado, e terá começado o que parece a jornada derradeira...

A superfície de última difusão está bem na sua frente.

Você respira fundo, pronto para atravessá-la, para viajar além do muro, para alcançar o que não pode ser visto.

O tempo retrocede...

E você está dentro.

Entrou numa parte do passado de nosso universo que jamais será visto com luz.

De fato, você não consegue ver mais nada.

A luz não se propaga aqui. Simplesmente, há muita energia por perto.

Mas sabe o que fazer.

Imediatamente, assume seu modo iogue e, para sua grande surpresa, se dá conta de que o universo além da superfície que acabou de cruzar é *grande*.

E velho.

No mínimo, tem 380 mil anos.

Sua jornada está longe de terminar.

Você se concentra mais uma vez no que está ao seu redor, no que está acontecendo agora, atrás do muro no fim do universo visível.

A temperatura ambiente é de 5 mil graus Celsius. Todos os elétrons que se ligarão um dia com núcleos atômicos livres, para se tornarem hidrogênio e hélio, estão aqui por conta própria. Os fótons se chocam neles, excitando-os, antes de serem emitidos de volta, só para se chocarem mais uma vez com outro elétron. O campo eletromagnético está tão cheio de energia que todas as suas partículas fundamentais se transformam em outra quase num piscar de olhos.

Outro piscar de olhos e você se deslocou dezenas de milhares de anos para trás desde o momento em que o universo ficou transparente.

Você está cercado por um denso caldo de partículas, uma mistura de todas as excitações de campos quânticos, suas partículas elementares e suas partículas mensageiras. Todas se chocando entre si, nenhuma delas conseguindo viajar. Também há muita energia por perto. As partículas aparecem, colidem e desaparecem. E, à medida que o tempo continua retrocedendo, à medida que o universo continua encolhendo, à medida que a densidade de energia aumenta, tudo fica cada vez mais violento.

No entanto, procura não ficar confuso e se concentra em sua viagem ao passado. Você é mente pura, e, no modo iogue, viaja através do que parece uma simulação muito, muito realista. O universo continua encolhendo, seu tecido, seu espaço-tempo, está curvado em níveis prodigiosos. As ondas gravitacionais estão em toda parte. Nada do que você conhece ou imagina suportaria tal poder de compressão e cisalhamento.

Por uma fração de segundo, você se pergunta por que não ouviu falar mais a respeito de gravidade nesse estágio, mas não tem tempo de pensar a respeito. Você voltou no tempo mais algumas dezenas de milhares de anos, e, agora, está cercado por um inferno inimaginável. Seu coração virtual começa a bater cada vez mais forte enquanto a temperatura, a pressão e os efeitos da gravidade sobre o que vê se elevam a níveis inacreditáveis.

Nesse momento, você está 380 mil anos antes de o universo ficar transparente. Na Terra, agora, observando por um telescópio, vendo 13,8 bilhões de anos atrás, você está a 380 mil anos-luz além do muro que marca o limite do universo visível.

Olhando para isso ao contrário, você está a cerca de três minutos de distância do que podemos chamar de nascimento do espaço e tempo.

Conforme o tempo continua a correr para trás, até mesmo os centros atômicos estão entrando em colapso, deixando todas as prisões quárkicas de nêutrons e prótons livres para se movimentarem por conta própria. A força nuclear forte em si está subjugada pela energia ambiente. Os prótons e os nêutrons, essas peças mais robustas das construções, até entram numa dança frenética, em que os prótons, golpeados pelas partículas mensageiras feitas de quark, convertem-se, perplexos, em nêutrons, desaparecendo do universo.

A temperatura?

Cem bilhões de graus Celsius.

Em toda parte.

Mas você não para.

Continua se deslocando. Retrocedendo segundo após segundo, todas as partículas de luz que o cercam agora se transformam em pares de matéria e antimatéria. Em toda parte. E parece haver a mesma quantidade das duas. Então, como uma delas se tornou predominante?, você se pergunta, num semitransê. Algo especial deve ter acontecido perto daqui, para que o equilíbrio tivesse sido rompido. Um mistério que pode até ser solucionado em 2015, ou em 2016, quando o acelerador de partículas LHC atualizado e incrementado (religado na CERN em junho de 2015) começar a revelar suas novas descobertas.

Você gostaria de poder ficar aqui por um pouco mais de tempo para descobrir isso por si mesmo e antes da CERN, mas não está no comando aqui, e, agora, está cruzando um universo cheio de uma sopa com uma energia tão fabulosa que tudo está sacudindo violentamente. A gravidade está se curvando e se comprimindo, e os campos estão excitados em níveis além do razoável.

Não é o peso de uma estrela cuja gravidade, através da curvatura do espaço e tempo, impõe sobre todo o campo perto daqui, mas a energia do universo inteiro comprimida numa esfera de 100 anos-luz de diâmetro.⁴⁹ Essa esfera, centralizada na Terra de hoje, conteria não mais do que 5 mil estrelas. Naquele tempo, continha a energia para construir centenas de bilhões de galáxias, que contêm, cada uma, centenas de bilhões de estrelas. Sem mencionar a poeira.

Por mais que quisesse observar tudo isso, você continua voando contra a correnteza do tempo.

*

Agora, você está a cerca de um milionésimo de segundo de distância de seu destino final.

A temperatura chegou a 100 trilhões de graus Celsius. Com tanta energia por perto, mesmo os guardas da prisão quárkica, os próprios glúons, não conseguem manter seus prisioneiros confinados. Os nêutrons entram em colapso. Os quarks, agora livres, começam a interagir com seus antieus, transformando-se em energia pura.

Olhando ao redor, você percebe que agora a diferença entre matéria, luz e energia é completamente supérflua.

Os campos que foram entes separados durante todo o caminho, desde o tempo da Terra até aqui, campos que, na Terra, descreviam tudo o que você podia pensar através de forças diferentes, estão agora se fundindo mutuamente, como previsto. O campo eletrofraco está ativo. Quando algumas partículas antigas que está acostumado a ver em toda parte desaparecem, novas partículas, entes fundamentais pertencentes ao campo eletrofraco, surgem em todos os lugares. O campo de Higgs desaparece. E, com ele, as partículas de Higgs massivas que permaneceram ocultas do conhecimento humano por tanto tempo.

As partículas que você observa agora são os bósons W e Z que encontramos antes; ou seja, as partículas mensageiras do campo eletrofraco.

Há tanta energia por perto que essas partículas, tão difíceis de criar na Terra, estão por toda parte.

Agora, o universo está numa temperatura de 100 bilhões de bilhões de graus Celsius, e as leis da natureza começam a diferir a olhos vistos daquelas que você experimentou ao longo da vida.

Os quarks e os antiquarks desaparecem.

Os glúons são tragados para o interior do campo de fundo.

Um milésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um segundo depois do que é nada menos que a suposta origem do espaço e tempo, um evento que podemos chamar de *Princípio*, que se tornará um dia nosso universo inteiro visível, é agora uma esfera de 10 metros de diâmetro, e continua encolhendo.

Tudo o que a esfera contém está agora aquecido a uma temperatura fantástica de bilhões de bilhões de bilhões de graus Celsius. E, à medida que continua se aquecendo, todos os campos que compõem toda a matéria da qual somos feitos tornam-se o campo da grande unificação.

Apenas a gravidade fica de fora dessa unificação das forças.

Estando tão perto do Princípio, você começa a acreditar que não pode acontecer muito mais coisa.

De fato, você acabou de alcançar o que foi batizado de Big Bang: o momento em que a energia armazenada no campo da grande unificação começa a se transformar em partículas.

No entanto, de forma espantosa, ainda que a física experimental nunca tenha alcançado esse lugar, o robô-computador não parece disposto a parar, como se para mostrar a você que a história do universo não começou ali. De fato, para sua grande surpresa, à medida que o tempo continua retrocedendo, a matéria e energia do universo inteiro subitamente desaparecem – e, ao contrário do que você talvez tivesse esperado, tudo esfria tremendamente e, ao mesmo tempo, toda a energia disponível é convertida em outro campo; um campo que não encontrou antes, um campo cheio com suas próprias partículas.

É denominado *campo inflaton*.

É considerado responsável pela expansão inicial de nosso universo.

Por mais absurdo que isso possa parecer, tudo agora subitamente acelera de novo, e o universo inteiro colapsa alucinantemente em si mesmo, num ritmo inimaginável, arrastando-o para dentro.

Em menos tempo que levaria para a luz cruzar o centro de um átomo em sua cozinha, o universo inteiro encolhe de cerca de 10 metros de diâmetro para um tamanho bilhões de vezes menor que um próton.

Os cientistas batizaram esse período de *inflação cosmológica*.⁵⁰ Você acabou de estar nela, para trás. Mais além, não há mais matéria, não há nada mais.

Todos os campos conhecidos desapareceram.

As leis da natureza não possuem semelhança com aquelas que você experimentou ao longo da vida, ou durante sua jornada até esse ponto.

Estão em algum lugar perto daqui as três forças ou campos que passarão a governar toda a matéria e antimatéria conhecidas do universo atualmente, incluindo a matéria da qual você é feito, que, outrora, acredita-se, fundiu-se com a gravidade.

Você gostaria de seguir em frente, continuar retrocedendo para além do Big Bang, até o nascimento de nosso universo, mas há algo errado.

As noções de espaço e tempo que você utilizou até agora não se aplicam mais.

A curvatura gravitacional do espaço-tempo é muito forte. Os efeitos quânticos são muito intensos.

Sem tempo, sem espaço, sem espaço-tempo, você não consegue mais viajar. Na realidade, nessas circunstâncias, deslocar-se não faz mais sentido.

Você não alcançou o Princípio, e nem sequer consegue imaginar uma

maneira de chegar ali.

Bastante frustrante.

E, subitamente, você gostaria de poder observar tudo isso a partir do lado de fora, já que sempre ficou *no interior* do universo até agora. No entanto, o próprio conceito de lado de fora também não parece fazer sentido.

Nesse caso, o que você alcançou é a superfície de outro muro, um muro de natureza distinta da superfície de última difusão, que limita o que pode ver da Terra. É um muro impenetrável não só à luz, mas também ao conhecimento moderno. Mais além se situa o domínio da *gravidade quântica*, onde todos os campos conhecidos da natureza podem estar unidos em um único campo, de uma maneira quântica.

Ali, nosso universo torna-se um mistério no qual as ciências, as convicções e a filosofia do século XXI estão entrelaçadas. De certo modo, é onde nosso conhecimento cessa e onde a pesquisa teórica pura assume o controle. Para viajar além da superfície de última difusão, você não pode utilizar telescópios coletores de luz, mas os cientistas desenvolveram aceleradores de partículas que lhes permitiram alcançar as temperaturas e pressões que esperavam encontrar no mais além, e funcionou. Os cientistas descobriram novas leis, e conseguiram retroceder ao longo do fluxo do tempo, embora de maneira indireta. Agora, no entanto, detectores de ondas gravitacionais permitem revelar ondulações que se propagam através do próprio espaço-tempo. Essas ondas não se preocupam com nenhum empecilho. Assim, a perspectiva tentadora de um dia descobrir sinais do passado distante que você acabou de percorrer, onde muitas dessas ondas primordiais devem ter sido emitidas, não é mais fantasia pura. No entanto, para viajar além do muro da gravidade quântica, também conhecida como *era de Planck*, é uma proposição completamente diferente. Ninguém nem sequer tem certeza de como *imaginar* o que se situa além. Nosso universo inteiro visível era tão diminuto naqueles tempos que, para investigar isso em sua mente, você precisa de uma teoria do imensamente grande tornado minúsculo; uma teoria em que as leis quânticas – com seus saltos quânticos e tudo o mais – são aplicadas ao próprio universo. Precisa de gravidade e de efeitos quânticos. Precisa de gravidade quântica e algo mais. E não temos isso. Não temos esse arcabouço de funcionamento. Assim, você não consegue ir além. De fato, nem sequer pode inferir o que se situa além desse muro de Planck, nem no espaço, nem no tempo, pois essas duas noções não fazem nenhum sentido ali. Quando os cientistas afirmam que nosso universo tem 13,8 bilhões de anos, querem dizer que 13,8 bilhões de

anos se passaram desde que o espaço e tempo aos quais estamos acostumados começaram a fazer sentido, desde que o *espaço-tempo* fez sentido. E, naquele momento, ocorreu algo cerca de 380 mil anos além da superfície de última difusão, 380 mil anos antes de a radiação cósmica de fundo em micro-ondas preencher o espaço sideral. E esse momento ocorreu a cerca de um milionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um segundo antes do Big Bang. No fim, os cientistas podem afirmar com razão que esse tempo decorreu desde a origem do espaço e tempo. No entanto, não significa que nosso universo começou ali. Nem que seja o único universo existente. Nem que seja o único que já tenha existido.

Você está de volta à sua sala de estar, de volta ao seu velho e surrado sofá, e está impressionado por uma sensação tão profunda que o faz agarrar o braço do sofá.

Você viajou através do espaço e tempo. Viu galáxias. Viu estrelas. Viu campos. Viu como a gravidade funciona, como seu efeito sobre a forma e o destino do espaço-tempo depende daquilo que o universo contém.

Sim. Você fez tudo isso.

E agora algo incrível está começando a acontecer para você, como se estivesse na iminência de fazer uma descoberta revolucionária...

Os pensamentos atravessam com rapidez sua mente. Você se sente como uma criança de novo, uma criança que, de repente, se dá conta de que o mundo pode ser entendido, que o mundo, de algum modo, até certo ponto, *foi* entendido, e o robô-computador mostrou tudo isso para você...

Você aprendeu com a teoria da relatividade geral de Einstein que pode descobrir toda a história do universo, sabendo o que ele continha.

Agora, sabe que os conteúdos do universo consistem em campos quânticos, que se movem, evoluem e interagem; campos que hoje são três, mas que foram *um* há muito tempo.

Esses campos são as mães e os pais de todas as partículas e antipartículas de nosso universo, e são o motivo pelo qual todas as partículas elementares são exatamente iguais, quer aqui, dentro de seu corpo ou em qualquer outra galáxia, no presente ou no passado.

E tudo isso só pode significar uma coisa.

Só pode significar que, potencialmente, você se tornou um deus.

Sim.

Um deus.

Sabe a respeito de gravidade.

Sabe o que se situa no interior do universo.

Junte os dois, e você sabe tudo.

A história do universo.

Seu passado.

Seu presente.

Seu futuro.

Você é um deus, quase por definição.

Toda a sua expressão se ilumina. Imediatamente, pega seu celular e digita o número da única pessoa que é capaz de pensar nesse exato momento.

“Quem fala?”

A voz do outro lado da linha parece desconfiada.

É sua tia-avó.

“Sou eu!”

“Ah! Oi, querido. Como vai? Está se sentindo melhor?”

“Melhor? Melhor impossível!”, exclama você.

“Que bom. Algo aconteceu?”

“Estive viajando e aprendendo a respeito do universo, e... bem, eu sei que isso parece uma insensatez, mas posso criar e desenvolver um universo como o nosso, apenas usando minha imaginação. Isso deve ser o que se sente sendo deus.”

“Entendo”, afirma sua tia-avó, depois de um instante de silêncio.

“O que a senhora entende?”, pergunta você, querendo saber por que ela tão evidentemente não compartilha de seu entusiasmo.

“Nada. Nada. É só isso. Bem, já ouvi isso antes.”

“Já?”

“As pessoas gostam de brincar de ser deus, não? Você se lembra de minhas queridas amigas Kati e Gabi?”

“Não, mas escute, o que eu...”

“Deixe-me terminar minha história, querido. Kati, Gabi e eu fomos ao campo de tiro com arco no último fim de semana. Elas gostam muito de atirar flechas, sabe, e me ensinaram isso: com algum conhecimento rudimentar de como nosso mundo funciona, parece que, sabendo como uma flecha é atirada e de onde, você é capaz de dizer onde ela cairá. Fascinante, não?”

“Sem dúvida, tia. Isso é balística, isso é uma lei de Newton.”

“É mesmo? Bem, bom saber. E você pode aplicar isso ao universo inteiro?”

“Como?”

“Você tem algo para começar? Tem algo em que pode aplicar sua balística ou qualquer lei da natureza que você aparentemente descobriu?”

“Eu... Algum tipo de condição inicial, a senhora quer dizer?”

“Não sei. Quer que eu peça a Kati e Gabi que liguem para você? Assim, pode conversar a respeito disso com elas. Elas são realmente muito boas nesse tipo de coisa.”

“Não, não, não! Não há necessidade...”

“Tudo bem, então. Você vai me ligar de novo quando descobrir sua condição inicial?”

“Eu... Eu... Tudo bem.”

“Obrigada por me ligar, querido. Você é um amor. Tchau!”

Depois disso, ela desliga o telefone.

E, enquanto você lança um olhar vazio para o telefone, deixe-me lhe dizer algo: como provavelmente entendeu por si mesmo, ela tem razão. Para entender algo a respeito do universo, precisa de dois dados individuais. O primeiro é uma lei, ou um conjunto de leis. O segundo é uma condição inicial.

Para aplicar ao universo como um todo as mesmas ideias que você teve até agora, para saber seu destino inteiro partindo do zero, então todas as leis do mundo não seriam suficientes.

Você ainda precisa de uma condição inicial sólida; uma condição na qual pode aplicar as leis da evolução. E você não tem isso. E, para piorar, como é possível ter certeza de que as leis da gravidade e dos campos quânticos como você as conhece se aplicaram desde o início de nosso universo?

Com um suspiro, se reclina no sofá e segura sua caneca de café com a sensação de que alguns dados importantes ainda estão perdidos em algum lugar...

⁴⁹ Se quiser saber (e com razão) por que o universo tem 100 anos-luz de diâmetro, em vez de alguns minutos-luz, você obterá a resposta ainda na Parte V.

⁵⁰ Na Parte VII, você saberá mais sobre inflação.

Capítulo 5

Os passados perdidos estão em toda parte

Espaço.

Tempo.

Espaço-tempo.

O que resta para descobrir a respeito deles que você ainda não viu?

Partículas. Partículas mensageiras.

Campos.

Gravidade e suas ondas.

Você não experimentou tudo o que há para conhecer?

E por que está se sentindo tão inquieto?

Você abre os olhos.

Para sua grande surpresa, você não está mais em casa, mas sim sentado num assento apertado, num avião estranhamente familiar.

Assento 13A, para ser exato.

Os outros passageiros estão se colocando em fila no corredor, preparando-se para desembarcar.

Você olha através da janelinha, confuso, mas não há dúvida: realmente, está de volta ao interior do avião de viagem no tempo. E ele acabou de pousar, em 2416. Achando difícil pensar logicamente, fica de pé, segue os outros passageiros e passa a caminhar por longos corredores cercados de paredes de vidro, aparentemente intermináveis, com vista para o mar.

Por que você está de volta para cá?

Um instante atrás, estava em casa. Tinha acabado de ligar para sua tia-avó depois de ter viajado por todo o universo conhecido.

Centralizada na Terra, você se lembra, há uma esfera com raio de 13,8

bilhões de anos-luz que contém todos os passados que a humanidade será sempre capaz de coletar usando a luz. Além dela, outra camada de realidade existiu por 380 mil anos. E além dela? Ninguém sabe.

Enquanto continua caminhando por outros corredores, com um Sol brilhante de 2416 emitindo seus raios de 8,3 minutos de idade sobre a Terra futura, uma sensação muito profunda de solidão subitamente se apossa de você.

Qual é o propósito de tudo isso?

Como esse nosso universo pode ser tão grande, e nós sermos tão pequenos dentro dele? Estamos condenados para sempre a ficar perdidos no espaço e tempo e atormentados pela nossa própria consciência desse fato? Ou estamos no início de uma longa jornada tecnológica que algum dia trará mundos distantes para mais perto? É isso o que está acontecendo aqui? Você está prestes a ver um dos muitos futuros que nosso planeta pode alcançar, um futuro em que o distante e o perto não são diferentes, um tempo em que os passados e os futuros são apenas rumos de viagem para nossos descendentes escolherem?

A viagem no tempo foi uma fantasia humana por muito tempo, mas você nunca ouviu falar de alguém que realmente fez a viagem.

Certa vez, Stephen Hawking promoveu uma festa para viajantes no tempo, ao meio-dia do dia 28 de junho de 2009. Para assegurar que somente viajantes no tempo aparecessem, ele só enviou convites depois da festa. Ninguém apareceu.

Então, o que essa sua nova jornada deve lhe dizer; você, organismo insignificante perdido na imensidão do espaço e tempo?

O corredor de vidro que você estava atravessando termina no saguão de um imenso aeroporto, ou talvez devamos chamá-lo de tempoporto. Centenas de pessoas estão formando fila para passar pelo que parece ser alguma forma de aduana. O saguão é muito iluminado. A luz penetra por grandes vidraças com vista para arranha-céus que se elevam do mar. Ao se juntar a uma das muitas filas, misturando-se com outros passageiros, você subitamente teme que o que está experimentando agora não seja um sonho, que seja real, que o que sonhou era voltar para casa. Compreensivelmente, isso o deixa ansioso.

Se isso é real, então o que aconteceu com seu passado?

Se realmente viajou 400 anos desde a decolagem, o passado que você deixou para trás ainda está em algum lugar? Você, se quiser, consegue viajar para trás, para viver aquela vida passada, ou ela se foi para sempre? E os queridos amigos da ilha, que o enviaram para casa, estão todos mortos há muito tempo? Você começa a entender que esse deve ser o caso, que comprimiu o tempo

deles na direção do agora.

A ação recíproca de tempo e espaço pode ser complicada de compreender, mas você acha difícil imaginar que diversas vidas possam ser levadas pela mesma pessoa simultaneamente, no mesmo universo, enquanto ela estivesse consciente delas todas – ainda que os campos pelo visto permitam exatamente isso no caso das partículas que ninguém está olhando.

O que é possível para partículas individuais parece não ser possível para uma coleção de bilhões e bilhões delas, assim como o corpo humano. Enquanto sua mente reflete sobre esse fato com certa tristeza, você fica quase fisicamente consciente da fenda intransponível que agora o separa de todas as pessoas que amou, e a dor aperta seu coração.

No entanto, há certo consolo no que você viu até agora. As vidas passadas de seus entes queridos se tornaram uma sucessão de imagens se movendo através do espaço e tempo. Toda a luz e todas as outras partículas desprovidas de massa que outrora ricochetearam em seus corpos, ou interagiram com os mesmos até da menor maneira, criaram uma memória da existência deles, uma imagem, uma casca que se espalha à velocidade da luz desde a Terra até desconhecidos distantes, pequenas ondulações de campos invisíveis, mas ubíquos. E, como você viajou 400 anos para o futuro, a memória visível das vidas deles presentemente banha planetas e estrelas que estão a 400 anos-luz da Terra, e as imagens deles continuarão se afastando, espalhando-se para mais longe, talvez caindo aqui e ali em certo dispositivo coletor de luz que os extraterrestres podem estar usando, por todo o tempo que nosso universo existir.

E o que dizer acerca da matéria de que eles eram feitos? O que dizer daqueles átomos que nascerem há bilhões de anos no centro de estrelas desaparecidas há muito tempo, antes de se reunirem para formar os corpos de seus amigos e entes queridos? Todos os trilhões e trilhões de partículas deles estão agora espalhados em todo o mundo... Você pode até estar perto de uma nesse exato momento. De qualquer maneira, todas as partículas são apenas uma.

Afinal, talvez não sejamos tão pequenos no contexto das coisas, você reflete. Nossa imagem está aqui e ficará para sempre. Há consolo em saber que a memória de nossas vidas sempre existirá, viajando entre as estrelas.

O tempo, o espaço e os campos nos fazem pertencer a uma realidade muito maior.

Estendendo os braços para sentir os campos do quais você é feito, erguendo

suas mãos alto no ar para vê-las escalar o declive invisível que a Terra cria em seu espaço-tempo circundante, começa a entender quão interconectados todos os passados, presentes e futuros podem realmente estar.

“Está tudo bem, senhor?”, pergunta repentinamente uma mulher uniformizada.

Deixando de lado seu devaneio, um tanto constrangido de não ter visto a mulher se aproximar, você mal consegue murmurar que sim, está bem – mas algumas coisas na vida nunca mudam. Mesmo no ano de 2416, todos imediatamente se sentem culpados de algo quando ficam diante de um funcionário da aduana.

“De onde o senhor está vindo?”, pergunta a mulher.

“Do começo do século XXI”, responde você, tentando parecer tão familiarizado com esse tipo de viagem quanto possível.

“Por favor, me siga, senhor”, afirma ela, com um tom que deixa claro que essa ordem não deve ser confundida com um pedido.

Depois que quase todos os outros passageiros próximos lançam um olhar acusatório em sua direção, você sai da fila e segue a funcionária pelo saguão.

“Há algo errado?”, pergunta você, quando uma porta abre automaticamente na frente da funcionária da aduana.

“Por favor, entre, senhor”, é a única resposta que você consegue.

No interior da sala, outro funcionário (de aparência bastante hostil) está sentado junto a uma grande mesa. Atrás dele, sobre sua cabeça, uma grande placa informa: “Ala de estresse psicológico em viagens no tempo – Qualquer ofensa contra nosso pessoal levará à imediata instauração de processo.”

Obviamente descontente de ter outro paciente para tratar, o funcionário, com impaciência, gesticula para você se sentar diante dele.

Olhando ao redor em desespero, você começa a suar frio. A sala está vazia. Há apenas a mesa, o funcionário hostil, a placa e... e um tubo amarelo agora familiar se projetando da lateral da mesa. Imediatamente, ao reconhecer seu companheiro lançador de partículas, todas as suas preocupações desaparecem.

“É outra simulação?”, você se pergunta. Em caso positivo, isso certamente fez você se sentir um pouco melhor a respeito de seu lugar no universo e o deixou reflexivo a respeito da natureza da vida e morte.

A busca para entender a realidade é pessoal, quando tudo está dito e feito, e nem o supercomputador nem eu devemos impor nossas visões sobre você. É seu direito ter ideias próprias. No entanto, devo aqui adverti-lo disso: até agora,

você só considerou de relance as duas teorias que os cientistas utilizam para descrever o nosso universo: a teoria quântica de campos e a teoria da gravidade de Einstein.⁵¹ Certamente, elas parecem coerentes e elegantes, mas você deve saber que existem problemas com muitos dos conceitos que elas envolvem.

De fato, para ser totalmente honesto com você, *ninguém* realmente entende o universo ainda. Talvez esse seja um dos motivos pelos quais ficamos todos tão felizes quando algo que foi previsto é descoberto, como o bóson de Higgs ou as ondas gravitacionais.

Mesmo a realidade que está ao seu redor, nesse momento, ou sobre seu sofá, ou sobre uma praia tropical, está coberta de mistério. No entanto, uma coisa é certa. Todos os mistérios que contam, quer ao seu redor, dentro de você ou além do Big Bang, levam, no fim, à unificação dos campos quânticos com uma teoria quântica da gravidade.

E, embora seja certo dizer que essa teoria de Tudo não é conhecida, ao menos uma das propriedades da gravidade quântica foi encontrada. Um indício, se você preferir. Um indício que oferece um palpite tentador sobre o que se situa além do muro de Planck.

Essa é a boa notícia.

A má notícia é que existe apenas uma janela conhecida que se abre sobre esse indício – uma janela a sugerir que talvez um dia seja possível viajar, ao menos em nossas mentes, além da origem do espaço-tempo. E eis por que o robô veio recebê-lo no tempoporto. Depois que a sala em que você está desaparece, para revelar novamente a paisagem escura do espaço longínquo, você começa a perguntar a respeito de seu destino, mas é cortado no meio da pergunta.

“Estou levando você para um buraco negro”, informa a máquina.

Como você viajou por iniciativa própria no início de suas aventuras cósmicas, você talvez esteja querendo saber o que deixou escapar naquela primeira visita.

A resposta, dessa vez, é bem simples.

Você não chegou perto o bastante.

⁵¹ A teoria da relatividade especial de Einstein, a teoria dos corpos em movimento (rápido), está incluída em ambas.

PARTE VI

Mistérios inesperados

Capítulo 1

O universo

Quando você pensa a esse respeito, há algo peculiar acerca do universo ao qual pertencemos. Seu nome, *universo*, vem de *uni* (“um”) e *verso* (“transformado em”). Assim, basicamente, seu nome significa “transformado em um”, destacando, desde o início, um problema muito específico.

Qualquer experiência realizada *no interior* de nosso universo pode ser repetida diversas vezes. Quer verificar a lei da gravitação de Newton na Terra? Atire uma flecha. Você não tem certeza de que fez direito? Atire outra. Muitas vezes. Com paciência verá que, a partir do conhecimento da posição inicial, do ângulo e da velocidade, você é capaz de prever onde a flecha pousará. Disso é o que trata a balística. E funciona. Caso contrário, arcos e flechas teriam sido abandonados há muito tempo, e a Inglaterra seria francesa.

Assim, com uma lei e uma condição iniciais, você pode, foi provado, prever onde uma flecha pousa e defender um país inteiro.

Para o universo como um todo, é um pouco mais difícil.

Mesmo se tivesse uma lei que explicasse tudo, que se aplicasse em qualquer lugar, como você a faria funcionar? De que modo a usaria para prever como o universo que vivemos hoje se tornaria do jeito que é? Você precisaria de uma condição inicial para isso. Que não tem.

Contudo, pode tentar passar a perna na natureza. Começando hoje, retrocedendo no tempo, poderia talvez chegar a um evento inicial que ocorreu há muito tempo. Isso é o que os cientistas fizeram. Isso é o que *você* fez na Parte V. E eles e você alcançaram o muro de Planck. O que é um começo muito bom, pois corresponde a quando o espaço e tempo se tornaram o que são atualmente.

Porém, isso não elimina o fato frustrante de que, ao contrário de sua experiência com as flechas, você só tem um universo para agir. Você não pode

tentar criar outro, com condições iniciais distintas, e verificar o que resulta disso. Não num laboratório.

Mas e se o nosso universo *não for* o único? E se fizer parte de outro tipo de multiverso, diferente daquele ao qual você foi apresentado no final da Parte II? *Nossa realidade* pode ser uma só em relação a uma miríade de realidades possíveis, todas tendo princípios diferentes, talvez até leis diferentes, e, portanto, presentes muito diferentes?

A ideia desse multiverso é uma questão que logo terá de encarar, pois faz parte da resposta que a física teórica moderna propôs para os mistérios que você investigará no decorrer desta parte.

De fato, esta seção do livro será um pouco diferente das anteriores. Nas Partes I e II, você se deslocou através do muito grande. Você aprendeu a respeito da gravidade. Na Parte III, viu a aparência de nossa realidade ao se deslocar muito rápido e, então, na Parte IV, ingressou no domínio do muito pequeno. Em resumo, até agora, investigou a relatividade do tempo e espaço e a física quântica. Contudo, em nenhum lugar, até agora, misturou gravidade e ideias quânticas. Isso é o que você visará fazer aqui.

Para isso, terá de exercitar sua mente um pouco, da mesma forma que exercitaria seu corpo durante um alongamento.

Misturar gravidade e física quântica significa misturar o muito grande e o muito pequeno. Assim, para você se preparar, sua mente terá de aprender a como saltar do muito pequeno para o muito grande, e vice-versa, repetidas vezes.

Dessa maneira, você verá o que *funciona mal* em relação às teorias que viu até agora.

Depois disso, viajará com seu guia robô a um lugar onde os efeitos gravitacionais e quânticos estão ambos em ação.

Por enquanto, porém, vamos dar uma olhada nos mistérios da ciência moderna juntos, apenas você e eu.

*

Podemos sustentar que há três tipos de mistérios na física.

O primeiro é inerente às próprias teorias; é teórico. O segundo está enraizado em observações e experiências. É aquele que em geral, mas não sempre, induz a pesquisa. O terceiro tipo de mistério surge quando ninguém entende mais *nada*. Os buracos negros e a física pré-espaço-tempo pertencem aos três tipos. São ambos pontes e obstáculos que se situam entre nós e o Santo Graal da

pesquisa moderna: uma teoria que unifica o mundo quântico e os aspectos dinâmicos do espaço-tempo que Einstein descobriu. Eis por que são excitantes.

E eis por que o robô está disposto a levá-lo para perto de um buraco negro.

Mas por que um buraco negro? Por que não as origens do universo em si?

Por que, no caso tanto do buraco negro, como do nascimento do universo, uma enorme quantidade de energia está confinada no interior de um volume bastante pequeno. Em ambos os casos, imensos encolhimentos para o muito pequeno, e, em ambos os casos, nem a gravidade nem os efeitos quânticos podem ser ignorados.

Nesse sentido, os buracos negros e a origem de nosso universo parecem muito semelhantes.

Não podemos olhar o universo do lado de fora, é claro. Experimentalmente, mesmo se tivéssemos uma lei que governasse o comportamento de tudo o que existe, visível ou não, não poderíamos verificar se configurações iniciais diferentes dão modelos evolucionários diferentes para o nosso universo como um todo. Não podemos criar Big Bangs no laboratório, e não vemos novos universos aparecerem no céu noturno para analisarmos.

Eis por que os buracos negros são úteis.

Por exemplo, há muitos deles. Escolha quase qualquer galáxia do universo, e, provavelmente, há um buraco negro supermassivo em seu centro. Também podem existir muito mais, menores, com massas algumas vezes maiores que a de nossa estrela, distribuídos em qualquer lugar. Em 2015, o maior buraco negro já detectado tinha 23 bilhões de vezes a massa do Sol. Situa-se a cerca de 12 bilhões de anos-luz de distância, no que era uma galáxia muito jovem, na época em que ele emitiu a luz que capturamos hoje. Na outra extremidade da escala, teoricamente, os menores buracos negros podem medir algo abaixo do assim chamado limite da *escala de Planck*, que corresponde a um ambiente onde os efeitos gravitacionais e quânticos têm de ser levados em conta. Em números, o comprimento de Planck corresponde a 16 milionésimos de um bilionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um milímetro. Tão pequeno que, para todos os propósitos práticos, os buracos negros podem ser de qualquer tamanho.

Tanto os buracos negros quanto o universo em estágio muito inicial partilham algumas características comuns importantes. Ambos envolvem um limite além do qual a gravidade não pode ser utilizada sem incorporar efeitos quânticos. Esse limite é o muro de Planck, o muro que você viu quando retrocedeu no

tempo, além do Big Bang, no fim da última Parte. Ao redor do nascimento do universo, esse muro estava em toda parte. Em relação aos buracos negros, porém, está normalmente oculto da vista, atrás de um portão que só abre num só sentido: um *horizonte*. Você cruzará um no fim desta seção.

Essa viagem será a chave que o levará para a Parte VII, onde você embarcará em sua jornada derradeira: uma viagem através do universo como visto pela mais popular das teorias modernas, uma visão de Tudo que se esforça para unificar o espaço, o tempo e os campos quânticos. No entanto, essas teorias, denominadas *teorias das cordas*, são tão estapafúrdias, envolvendo universos tanto múltiplos quanto paralelos, dimensões extras e tudo o mais, que você pode começar a acreditar que os cientistas enlouqueceram.

Se não fosse pelos mistérios que solucionam.

Após tudo o que passou até alcançar esta página, você pode achar divertido descobrir que, longe de terem descoberto quase tudo, os físicos do século XX nos deixaram uma imagem de nosso universo que é bem repleta de desconhecidos profundos e escuros. Porém, isso não deve ser tratado como um desapontamento. Esses desconhecidos são as janelas (opacas) que cobrem a ciência de amanhã. E, entre mim e você, vendo o quanto o entendimento da humanidade a respeito de quase tudo evoluiu em menos de um século, vendo as ideias desconcertantes que estão hoje germinando nas mentes dos físicos teóricos, resta pouca dúvida de que mais revoluções de pensamento ainda estão por vir. Algumas até podem estar maduras ou prontas para florescer, apenas carecendo da experiência correta, prontas para moldar nossas percepções com a promessa de uma realidade nova, estranha, mágica.

Então, eis o que vai acontecer para você agora.

Primeiro, você terá outra visão dos campos quânticos que preenchem nosso universo, e verá que, apesar do que eu lhe disse até agora, eles não fazem nenhum sentido. Então, ainda terá outra visão de todas as partículas que esses campos originam, no contexto da gravidade quântica, e verá que também não fazem nenhum sentido. Então, encontrará um gato, que está tanto morto quanto vivo, e, se seguir tudo isso, não entenderá mais nada.

Fortalecido por esses sucessos, você ouvirá falar a respeito de universos paralelos separando-se do nosso como galhos de uma árvore.

Uma vez convencido de que o mundo quântico está completamente além do que nosso senso comum nos teria feito acreditar acerca da aparência da realidade, você se deslocará para um território mais familiar. Visando, no fim,

transpor o fosso que separa o muito pequeno e o muito grande, você se voltará de novo para a visão geral, para um olhar fresco em relação à teoria de Einstein, às galáxias de nosso universo, à sua expansão, esperando encontrar tudo definido de modo bem tranquilizador. De maneira bastante curiosa, você não quer. Verá por si mesmo que a maior parte do que nosso universo contém não é só invisível aos nossos telescópios, mas também desconhecido. Numa grande escala, o universo está cheio de mistérios para todo lugar que você olhe, da mesma forma que está numa escala muito pequena.

Relutantemente ou não, você, então, terá de digerir o fato de que, por mais poderosa que fosse e que para sempre seja, a teoria de Einstein a respeito de um espaço-tempo curvado é incompleta, que consegue até prever seu próprio colapso e, portanto, não pode ser uma teoria de Tudo. *Há* lugares em nosso universo onde não pode ser utilizada. Isso significa que uma teoria maior precisa ser descoberta, se alguém pretende alguma vez explicar tudo.

Onde a teoria de Einstein falha?

Provavelmente, você adivinhou: no interior dos buracos negros e antes do Big Bang, em algum lugar no caminho para o muro de Planck.

Até agora, você viajou pelas melhores teorias que a humanidade já criou para descrever o mundo que nos cerca. Na prática, significa que você agora sabe tanto a respeito de nosso universo quanto um bom estudante de pós-graduação de alguma das melhores universidades do mundo. Não em termos técnicos, evidentemente, mas, sem dúvida, em termos de ideias. Já deve ser o suficiente para você brilhar em qualquer jantar festivo.

Agora chegou a hora de você ir além e ver o que não funciona. E então você não só brilhará, mas também será capaz de fazer seus amigos coçarem a cabeça, em descrença.

Capítulo 2

Infinitos quânticos Você se lembra de como o vácuo do espaço sideral “realmente” se parecia? O que até então tinha parecido ser apenas vazio se transformou numa selva de campos flutuantes. As flutuações se tornaram partículas que surgiram dos vácuos dos campos, em toda parte.

No mundo quântico, quando algo é possível, acontece. Assim, por um momento, esqueça-se do seu tamanho normal cotidiano e da gravidade, e imagine seu minieu imerso dentro de campos quânticos, no mundo do muito pequeno, sentado numa minicadeira. Você é como um juiz, observando dois elétrons interagirem, da mesma forma que talvez assistisse a uma partida de tênis, com os elétrons sendo os jogadores e as bolas sendo os fótons virtuais que dançam entre eles.

Há um elétron em algum lugar à sua direita e outro, à sua esquerda. Sendo exatamente idênticos, ambos possuem a mesma carga elétrica. Como ímãs, devem se repelir. Isso deve ser divertido de ver. Por enquanto, os elétrons estão distantes, propagando-se dentro do campo eletromagnético em que nasceram. Eles se movem mais perto um do outro; estão prestes a colidir um contra o outro, mas isso não acontece. Eles interagem. Eles jogam. Fótons virtuais surgem do campo eletromagnético, desviando os elétrons, espalhando-os. Então, tão rápido quanto começou, o jogo acaba. Os elétrons e os fótons virtuais somem.

Você espera pelo próximo jogo.

Outro par de elétrons está a caminho.

Dessa vez, decide se concentrar nos fótons virtuais, em vez de nos elétrons. Você aguça o foco de seus miniolhos.

Os elétrons estão se deslocando. Estão ficando cada vez mais próximos e – *pop!* – os fótons virtuais aparecem. Para não perder nada, você retarda a passagem do tempo.

Os elétrons estão prestes a serem desviados.

Os fótons virtuais estão bem ali.

Mas algo está acontecendo.

Um dos fótons virtuais que apareceu no meio dos dois tenistas-elétrons passou espontaneamente por uma metamorfose estranha.

Tornou-se um par partícula-antipartícula: um elétron e um pósitron.

Você lança um olhar rápido na direção dos elétrons, curioso para saber se eles foram afetados pela perda da pérola de luz virtual deles, mas eles parecem não se importar. Então, você olha de novo para o par recém-criado e... Não é mais um par, mas sim dois pares e meio.

Você fecha os miniolhos e os esfrega.

Que tipo de jogo é esse?

Você reabre os olhos.

De repente, há milhares de pares de partículas e antipartículas no meio dos dois elétrons.

Você pisca.

Há centenas de milhões de pares.

E agora trilhões.

Você pisca de novo e... Todos os pares sumiram.

Você verifica os elétrons.

Eles se espalharam. Exatamente como os jogadores anteriores. Incrível.

O que você testemunhou é uma consequência das regras quânticas que se aplicam ao muito pequeno: se algo é possível, acontece. E é muito possível para fótons virtuais, imersos na energia dos elétrons em movimento, tornarem-se pares virtuais de partículas-antipartículas, que, por sua vez, tornam-se outros pares, ou se aniquilam e voltam a ser luz, que, por sua vez, pode...

Você captou a ideia.

Mesmo quando apenas dois elétrons minúsculos interagem, as possibilidades de pares virtuais aparecerem durante a interação são infinitas. Além disso, um número infinito de pares virtuais está envolvido.

Considerando isso, ainda sentado satisfeito em sua cadeira de minijuíz, você espera o próximo jogo, a fim de testemunhar os fogos de artifício de novo, mas não há mais jogadores. Nenhum elétron está vindo. No entanto, agora que sabe o que procurar, vê pares virtuais de partícula-antipartícula aparecerem mesmo assim, embora num ritmo mais lento. Parecem bolas e antibolas de tênis surgindo do nada, sem nenhum jogador por perto.

Essas criações de par são as *flutuações quânticas* no vácuo.

Os pares estão presentes o tempo todo, mas quando existe alguma energia disponível para eles utilizarem – como a energia cinética de alguns elétrons que chegam – ficam muito mais excitados.

Um par elétron-pósitron aparece espontaneamente na sua frente e o par se aniquila em um fóton, que, espontaneamente, transforma-se em outro par, um par quark-antiquark, e, agora, um dos antiquarks emite um glúon, que, por sua vez...

Mesmo no vácuo, onde parece não haver nada por perto, para criar um quadro correto de nosso mundo, todas as possibilidades infinitas de criação de partícula-antipartícula devem ser levadas em conta, em toda parte, o tempo todo.

Uma confusão.

Uma confusão com uma consequência um tanto catastrófica: as possibilidades são tão importantes e numerosas (são, de fato, infinitas) que deve haver uma quantidade infinita de energia em todos os pontos de nosso universo. Mesmo onde não há nada mais, no vácuo. Evidentemente, esse não é o caso, ou nosso universo colapsaria em todos os lugares, nesse momento, por causa do impacto gravitacional extraordinário que isso teria sobre o espaço-tempo. Assim, há algo errado com esse quadro.

Para facilitar esse problema um tanto incômodo, os teóricos do campo quântico propuseram um ardil bastante engenhoso: pura e simplesmente, decidiram esquecer a gravidade, removendo-a inteiramente do jogo. E, enquanto estavam fazendo isso, também se livraram dos infinitos. Eles os eliminaram e fizeram cálculos com o que restou e, abracadabra!... Funcionou.

Gerard 't Hooft, físico teórico holandês, para nomear apenas um dos físicos incríveis e brilhantes que geraram essa cirurgia matemática, recebeu junto com Martinus Veltman, seu orientador de doutorado, o Prêmio Nobel de Física por isso, em 1999. Graças a eles (e alguns outros), e apesar do truque matemático de responsabilizar os infinitos, a teoria quântica de campos possivelmente se tornou, mediante seu poder preditivo, a teoria científica mais bem-sucedida de

todos os tempos. Livrar-se dos infinitos levou a previsões a respeito das partículas que não tinham sido vistas antes, previsões que eram precisas – no que diz respeito às suas massas ou cargas – até de uma parte em mais de 100 bilhões. Se uma pessoa escolhida ao acaso fosse assim precisa, ela seria capaz de estimar se uma gota de cerveja foi perdida em meio milhão de litros servidos num bar. Sem dúvida, tumultos não ocorreriam diariamente se tivéssemos essa capacidade.

As teorias quânticas de campos são extremamente precisas em seu poder preditivo, mas esse truque nos deixa frustrados por motivos que nem mesmo um milhão de cervejas conseguem evitar.

Por que esses infinitos ocorrem?

Pode ser porque não sabemos o que está acontecendo em regiões de nosso universo que são ainda menores do que aquelas que essas teorias estão investigando?

Talvez.

Foi o que pensou um notável físico norte-americano. Seu nome era Kenneth Geddes Wilson, e, em vez de tentar explicar os domínios infinitamente menores para chegar a uma conclusão a respeito das partículas, ele considerou que essas escalas tão vertiginosas podiam realmente ser o problema: não se deveria necessariamente ter de considerar escalas sempre menores para ser capaz de falar a respeito de partículas. Da mesma forma que não é necessário saber a respeito de átomos para comparar maçãs numa banca de feira, Wilson sustentou – e provou – que aquilo que não é conhecido pode ser medido, codificado e esquecido.

E isso funcionou – de fato, em 1982, ele recebeu o Prêmio Nobel de Física por isso.

Contudo, Wilson não solucionou o problema do que acontece no infinitamente pequeno; ele simplesmente livrou-se dele. Introduzindo um limite de aplicação geral em relação ao que não era conhecido, os infinitos que antes tinham frustrado o campo não ocorreram mais.

O processo de eliminação dos infinitos tem um nome: *renormalização*. Como mencionado anteriormente, é bastante eficiente para a realização de cálculos. Mas para se ter sempre uma esperança de entender tudo, não se pode simplesmente contornar o desconhecido. É necessário mergulhar nele. Principalmente por causa da gravidade, esses procedimentos de renormalização não funciona.

As teorias quânticas de campos envolvem o que o universo contém. São muito precisas, espantosamente precisas, mas só quando deixam o espaço-tempo de fundo sozinho, fixo, com a gravidade não tendo efeito sobre nada. Não é um mundo muito realista.

Precisamos achar uma maneira de trazer a gravidade de volta.

Temos de converter a gravidade num campo quântico.

Como isso pode ser feito?

As teorias quânticas de campos afirmam que, assim que há campos por perto, esses campos conseguem criar pequenos pacotes de energia, ou pequenos pacotes de matéria, que são denominados *quanta*.⁵² Os quanta básicos do campo eletromagnético são os estados menos energéticos de suas partículas elementares, os fótons e os elétrons. Da mesma forma, os quanta básicos da força nuclear forte dão os quarks e os glúons, enquanto os quanta básicos do campo gravitacional, considerado um campo quântico hipotético, são o que chamamos anteriormente de grávitons.

Você já ouviu falar deles antes, na Parte V, mas nós os preterimos então. Por que eles reapareceram aqui? Porque gostaríamos de ver o que pode estar errado com eles. Assim, consideremos a gravidade algo que surge de um campo quântico, como todos os outros campos que vimos até agora. Então, os grávitons são suas partículas mensageiras. E, quando os teóricos calculam, teoricamente, como esses grávitons afetariam seus arredores, consideram que os grávitons seriam exatamente como curvas do espaço-tempo.

Teoricamente, eles são gravidade.

Um começo muito promissor.

Mas acontece que, quando os cientistas se aprofundam em suas considerações, dão-se conta de que aqueles próprios quanta do campo gravitacional, aqueles grávitons, também fazem a ideia objetiva da gravidade falhar completamente.

O que não é uma boa coisa.

Por que isso acontece?

Em primeiro lugar, os grávitons não têm motivo de não interagirem uns com os outros: se eles existem, então devem, de qualquer modo, ficar sujeitos à gravidade como tudo o mais, e, portanto, a si mesmos.

Em segundo lugar, sendo partículas elementares de um campo quântico, devem ser capazes de aparecer por toda parte, do vácuo de seus campos, levando a infinitos exatamente como aqueles que t' Hooft e Veltman deixaram de lado. Dessa vez, porém, os infinitos quânticos gravitacionais não podem ser

removidos por nenhum procedimento de renormalização: nesse caso, o mecanismo de t' Hooft e Veltman falha completamente, e a abordagem de Wilson não se aplica de modo algum, pois ignora as próprias distâncias em que os grávitons atuam.

Em suma, isso significa que infinitos realmente problemáticos surgem quando tentamos converter a gravidade num campo quântico de maneira padrão, e, evidentemente, não podemos ignorar a gravidade, para nos livrarmos dela, pois os grávitons são gravidade.

Se a gravidade era um campo quântico como acabamos de mencionar, se os grávitons eram uma descrição correta de como a gravidade funciona na natureza, o espaço-tempo deve reagir a esses infinitos e colapsar quase em toda parte. O que não acontece. Ou não estaríamos aqui para falar a respeito disso.

Curiosamente, apesar de tudo isso, e você pode acreditar que eles são lunáticos, muitos cientistas (incluindo eu mesmo – na Parte VII, eu lhe mostrarei por quê) acreditam que os grávitons existem, ao menos como parte de uma teoria maior que todos estão procurando.

*

Agora, enquanto estamos nisso, vamos ainda mais longe, para que você veja, desde o início, os diversos motivos pelos quais a teoria da relatividade geral de Einstein e a teoria quântica de campos estão em desacordo.

A gravidade tem a ver com espaço-tempo. Isto é, com espaço e tempo. Entrelaçados.

Na teoria quântica de campos, as partículas elementares que surgem do vácuo são feitas do próprio campo. No caso da teoria quântica de campos da *gravidade*, as partículas elementares devem, portanto, também ser feitas de seu campo. No entanto, esse campo é espaço-tempo. Assim, as partículas devem ser feitas do espaço e tempo de si mesmas.

Isso significa que devem existir pacotes fundamentais de espaço-tempo ao redor, em toda parte, e, casualmente, nem o espaço nem o tempo devem ser contínuos.

Pior, esses pacotes de espaço-tempo devem ser capazes de se comportar tanto como ondas, quanto como partículas. E ficar sujeitos ao tunelamento quântico, aos saltos quânticos...

Boa sorte ao tentar imaginar isso em sua mente.

De fato, se você for um ser humano normal, só tentar pensar a esse respeito deverá fazer seu cérebro fundir.

No que diz respeito à natureza, porém, não deveria ser um problema.

Um problema real, porém, é que mesmo se esquecermos dos infinitos incômodos, todas as outras teorias quânticas de campos, que são tão poderosas na descrição de todas as partículas das quais somos feitos, só funcionarão enquanto não houver esses pacotes de espaço-tempo ao redor.

Em outras palavras, significa que a teoria da relatividade geral e a teoria quântica de campos não utilizam as mesmas noções de espaço e tempo.

E esse é um problema.

Um problema muito grande. Sem solução óbvia.

E, portanto, ficamos com uma sensação curiosa de estarmos presos no meio: a humanidade descobriu duas teorias muito eficientes: uma que descreve a estrutura de nosso universo (gravidade de Einstein: a teoria da relatividade geral), e outra que descreve tudo o que o nosso universo contém (teoria quântica de campos), e essas duas teorias não conversam entre si. Durante um longo tempo, mesmo os físicos que trabalhavam em cada uma dessas duas teorias seguiram o exemplo e também não conversaram entre si. Richard Feynman, físico teórico norte-americano, agraciado com o Prêmio Nobel por seu trabalho a respeito da teoria quântica de campos e um dos cientistas mais brilhantes de todos os tempos, escreveu uma carta para sua mulher explicando isso: “Não estou ganhando nada com esse encontro”, afirmou ele, em 1962, após comparecer a uma conferência a respeito da gravidade. “Não estou aprendendo nada. Como não há experiências, esse campo não é muito ativo. Assim, poucos dos melhores homens estão realizando trabalhos nele. O resultado é que há um bando de tolos (126) aqui e isso não é bom para minha pressão arterial. Lembre-me de não comparecer a mais nenhuma conferência a respeito de gravidade!”

No entanto, graças às novas tecnologias e ao trabalho de físicos teóricos, como Stephen Hawking, os cientistas logo entenderam que não podiam ignorar o que não sabiam, e ideias de um dos lados começaram a se difundir para o outro lado, e vice-versa, dando origem a ideias loucas, que você percorrerá na Parte VII, a qual eu, agora, vou apresentá-lo.

⁵² Do latim, a palavra “quantum” significa literalmente “pequeno pacote”, e *quanta* é o plural.

Capítulo 3

Ser e não ser, de preferência

Você se lembra daquelas partículas quânticas com que o robô brincou no recinto branco com poste de metal? Ali embaixo, no mundo do muito pequeno, as partículas realmente pegam todos os caminhos possíveis e impossíveis para ir de um lugar para outro, de um tempo para outro, desde que ninguém olhe.

Então, por que todos os aspectos quânticos de todas as partículas que compõem seu corpo não se convertem num você-quântico?

Não seria legal?

Todos os caminhos da vida diferentes que você pode imaginar ocorreriam simultaneamente. Você seria muito rico e muito pobre, seria casado e solteiro, seria alegre e triste, ganharia um Prêmio Nobel e seria completamente parvo, estaria aqui e ali, e viveria de vez em quando... Você levaria todas as vidas que é capaz de sonhar e todas que não gostaria.

Mas isso não parece estar acontecendo.

Você é feito de matéria quântica, não? Então, devia acontecer.

Mas não acontece.

Por quê?

Bem, por mais incrível que possa parecer, ninguém sabe. De fato, liga-se a um dos maiores mistérios do mundo quântico: por que não vemos os efeitos quânticos em toda parte ao redor de nós?

Sendo feitos de partículas quânticas, expressões de campos quânticos, como tudo o mais, por que experimentamos o mundo da maneira que experimentamos e não da maneira que as partículas experimentam em nível subatômico?

É possível afirmar que o mundo é do jeito que é, que a física não trata de questionar suas regras, mas apenas tenta decifrá-las.

Há, porém, um pequeno problema com essa humilde afirmação: as leis do

mundo quântico são tão diferentes da realidade que percebemos no dia a dia que deve haver algum tipo de transição entre o mundo quântico e o *clássico*, como é chamado o que experimentamos, o mundo com o qual estamos acostumados. Se as partículas que compõem nossos corpos, ou que são encontradas no ar ou no espaço sideral, se comportassem como bolas de tênis decentes, então tudo estaria bem. Entenderíamos tudo, desde os elementos muito pequenos até os maiores.

Mas as partículas não se comportam assim.

Você viu isso muitas vezes durante suas jornadas no mundo do muito pequeno. Ao tentar pegar o elétron que girava ao redor do átomo de hidrogênio, por exemplo, você se lembra de quão difícil foi para você saber onde ele estava e o quão rápido ele se movia? Bem, agora, vamos dar outra olhada nesse fato.

Imagine-se em sua condição de minivocê. Você é menor do que um átomo. Uma partícula está a caminho, em sua direção. Não sabe nada a respeito dela, nem seu tamanho, nem onde está, nem quão rápido está se aproximando. Só sabe que a partícula obedece às regras do mundo quântico.

Você tira uma minilanterna de uma minibolsa que trouxe e se prepara para acendê-la, esperando que sua luz reflita a partícula, onde quer que ela esteja, e o reflexo viaje de volta para você, revelando-lhe, assim, a posição dela.

Mas não pode usar qualquer luz para fazer isso.

Precisa usar a luz “certa”.

Você se lembra de que a luz pode ser considerada uma onda? Bem, nesse caso, a luz “certa” significa que a separação entre duas cristas consecutivas de onda (o comprimento de onda) deve ser aproximadamente do tamanho de seu alvo ou menor. Utilizar um comprimento de onda muito grande, e a luz ao qual ela corresponde não perceberá a partícula. Passará através dela, exatamente como as ondas de rádio se deslocam através das paredes de sua casa sem sequer percebê-las. Com o comprimento de onda “certo”, porém, você obterá um ricochete de volta e será capaz de dizer a posição de sua partícula com a precisão do comprimento de onda utilizado. Simultaneamente, você será capaz de verificar qual é a velocidade da partícula e saberá tudo o que quiser a respeito dela.

Fácil.

Você ajusta o botão de sua minilanterna de última geração para obter um pulso bastante energético. Concentrado, atira e... *Bam!* Atingiu alguma coisa. Uma partícula. Ali. À sua frente. A luz ricocheteou nela e se moveu de volta

para você. O tempo que a luz levou para se deslocar para lá e para cá lhe diz exatamente onde a partícula estava no impacto, e a partícula, portanto, não pode mais estar em qualquer lugar. Uma vez detectada, a partícula perde seus atributos de onda quântica. De todas as possíveis posições que ela mantinha simultaneamente a uma fração de segundo atrás, uma foi pega pelo próprio ato de usar sua lanterna como aparelho de exame. Exatamente como quando o robô lançou aquela partícula no recinto branco. A partícula foi para todos os lugares *até* ser detectada por um detector. Esse processo irreversível é denominado *colapso da onda quântica*.

Após a ocorrência do colapso, você sabe onde está a partícula, até a precisão de um comprimento de onda. Agora, quer saber quão rápido ela estava se movendo no ponto de impacto.

No entanto, isso não vai ser tão fácil.

De fato, você não será capaz de responder a essa pergunta de modo exato. Jamais.

Lembre-se: quanto menor o comprimento de onda, mais energética a luz ao qual corresponde.

Assim, quanto mais precisa a posição que você consegue, mais energética a luz que teve de usar em sua lanterna e mais difícil foi atingir sua partícula – e, portanto, menos sabe a respeito de sua velocidade subsequente.

No mundo ao qual estamos acostumando, essa é uma afirmação trivial.

Tente, no escuro, localizar a posição de um objeto móvel, disparando alguma coisa contra ele. O impacto afetará o que você quis investigar. Se o que disparou ricocheteou de volta para si, você saberá onde o objeto estava no impacto, mas, se disparar de novo para saber onde ele foi, verá que sua velocidade mudou por causa de seu primeiro disparo.

De fato, trivial.

No mundo quântico, porém, isso não é simplesmente uma incerteza trivial. É uma propriedade significativa da natureza. Afirma que você, fundamentalmente, não pode saber onde a partícula está e quão rápido ela está se movendo. Essa regra é denominada *princípio da incerteza de Heisenberg*, em homenagem a Werner Heisenberg, físico teórico alemão, que o descobriu. Heisenberg é um dos pais fundadores da teoria quântica do mundo atômico. Em 1932, ele recebeu o Prêmio Nobel de Física por isso. Ele sabia do que estava falando. Contudo, como todo o mundo desde então, Heisenberg não *entendeu* isso. Está além de nossa intuição, é contrário ao senso comum.

Imediatamente, o princípio da incerteza torna o mundo quântico muito

diferente de nosso mundo clássico, cotidiano.

Nesse exato momento, com relação ao seu corpo, você sabe onde está o livro que está lendo *e* quão rápido está se movendo. Portanto, sabe sua posição *e* sua velocidade com um nível muito bom de precisão. No entanto, também há uma incerteza a respeito de sua posição e sua velocidade; uma incerteza muito pequena para perceber, e, portanto, uma incerteza que realmente não importa.

No muito pequeno, porém, em seu estado de minivocê, você não seria capaz de segurar um livro nas mãos ou mesmo uma lanterna. Se soubesse precisamente onde um minixemplar de seu livro estava, a incerteza a respeito de sua velocidade seria enorme, pois você estaria disparando diversas partículas nele, só para saber onde ele estava, e nunca seria capaz de olhar para ele. Por outro lado, se você soubesse precisamente quão rápido o minixemplar estava se movendo, você não seria capaz, de nenhuma maneira, de saber onde ele estava, tornando difícil a leitura. No muito pequeno, a posição e a velocidade se fundem num conceito nebuloso. Exatamente como o efeito Casimir, conforme a tecnologia se torna cada vez menor, há um problema que os engenheiros terão cada vez mais de encarar.

Dito isso, o princípio da incerteza de Heisenberg não é um mistério.

É um fato.

A rigor, não é nem sequer uma incerteza. Simplesmente sustenta que nossas noções clássicas de posição e velocidade não se aplicam no muito pequeno. A natureza funciona de uma maneira distinta ali, e temos realmente teorias para explicar isso, teorias que predizem isso: a física quântica. E esses efeitos estranhos acontecem em nossas escalas, mas simplesmente não somos construídos para senti-los. Tornam-se insignificantes quando muitas partículas estão envolvidas. E esse também é um fato bem entendido.

Então, onde está o mistério que estávamos procurando? Há algum?

Sim.

Ignoramos algo na medição que acabamos de fazer: o colapso da onda quântica.

E isso é um mistério.

Um realmente enigmático.

Quando não incomodadas, as partículas quânticas se comportam como imagens múltiplas de si mesmas (como ondas, realmente), movendo-se simultaneamente através de todos os caminhos possíveis no espaço e tempo.

Agora, de novo, por que não experimentamos essa multidão ao nosso redor? É porque estamos investigando coisas ao redor de nós o tempo todo? Por que

todas as experiências que envolvem, por exemplo, a posição de uma partícula a fazem estar subitamente *em algum lugar*, e não em qualquer lugar?

Ninguém sabe.

Antes de você investigar isso, uma partícula é uma onda de possibilidades. Depois que a investigou, ela está em algum lugar, e, subsequentemente, está em algum lugar para sempre, e não em qualquer lugar de novo.

Estranho isso.

Nada, dentro das leis da física quântica, leva em conta o fato de esse colapso acontecer. É um mistério experimental e teórico.

A física quântica estipula que, sempre que algo está aí, pode se transformar em outra coisa, claro, mas não pode desaparecer. E, como a física quântica permite múltiplas possibilidades simultaneamente, essas possibilidades deveriam continuar existindo, mesmo depois da realização de uma medição. Mas não continuam. Todas as possibilidades desaparecem, exceto uma. Não vemos nenhuma das outras ao nosso redor. Vivemos num mundo clássico, onde tudo se baseia em leis quânticas, mas nada se assemelha ao mundo quântico.

Então, a pergunta é: como podemos fazer os efeitos quânticos aparecerem em nossa escala humana, para que possamos investigá-los e ver o colapso, se realmente existir um, com os nossos próprios olhos? Isso é possível? E, se conseguíssemos observar efeitos quânticos assim, o que esperaríamos ver?

Em 1935, dois anos após ser agraciado com o Prêmio Nobel por seu trabalho a respeito de física quântica, Erwin Schrödinger, físico austríaco, criou um experimento para trazer os efeitos quânticos para a nossa escala. Envolveu um gato e uma caixa. Ainda que fosse apenas um experimento mental, nenhum cientista parou de se perguntar se aquele gato está morto ou vivo desde então.

Você está prestes a realizar o experimento de Schrödinger de novo. E espero que você não seja tão aficionado por gatinhos engraçadinhos, ronronantes, inocentes e brincalhões: há uma boa chance de o gato se machucar durante o experimento. De qualquer forma, lembre-se de que a ideia aqui é fazer os efeitos quânticos parecerem macroscópicos. Alguns sacrifícios podem ser necessários.

Com essa ressalva, comecemos.

Para aqueles que não sabem, o gato é um mamífero quadrúpede, com rabo e geralmente peludo, que vive dentro das mesmas escalas de realidade que nós. A maioria das pessoas gosta de afagá-los, mas nem todas. Os gatos veem em

quase todas as cores, mas, até onde sei, não em verde.

Para realizar o experimento mental de Schrödinger, você escolhe um gatinho adorável, preto e branco, e procura uma caixa que possa ser perfeitamente lacrada, de modo que, depois de fechada, ninguém saiba nada a respeito de seu interior a partir do lado de fora.

Além do gato e da caixa, você precisa trazer uma substância radioativa, uma muito especial, que se sabe que tem 50% de chances de emitir alguma radiação durante o tempo do experimento. Os materiais radioativos são muito imprevisíveis. De acordo com as leis quânticas, não há maneira de saber de antemão se a substância decairá ou emitirá alguma radiação ou não. Há apenas uma probabilidade. Uma chance em duas em relação à substância que você achou.

Agora, também precisa encontrar três outros objetos: um detector de radiação, um martelo e uma ampola contendo algum veneno muito letal.

Então, liga tudo, de modo que, se o detector notar alguma radiação emitida pela substância radioativa, o martelo quebrará a ampola e o veneno será liberado. Isso seria inócuo se não fosse o fato de que põe todas essas coisas, o martelo, a substância radioativa, o veneno e o gato, na caixa, e lacra a tampa.

Em seguida, você espera.

E então?

Há 50% de chances de que o gato seja envenenado. Tudo depende do decaimento radioativo.

Um experimento malvado, certo?

Definitivamente, você não deve tentar fazê-lo em casa.

Agora, vem a pergunta: o gato está morto?

Nesse caso, os efeitos quânticos estão em progresso, como desejado. E o resultado é macroscópico; ou seja, grande o bastante para vermos.

No entanto, sem abrir a caixa, não há jeito de você saber se o decaimento radioativo ocorreu ou não, e, assim, não há como dizer se a ampola está quebrada ou não, e, portanto, se o gato está morto ou vivo.

Nada de novo debaixo do Sol, certo? Bem, em relação a todas as coisas quânticas, devemos ficar atentos e usar o senso comum moderadamente. Ou, de fato, de jeito nenhum. Para inferir algo lá embaixo, precisamos cumprir as leis do mundo quântico. Na vida real, podemos esperar que o gato na caixa esteja vivo ou morto.

No entanto, essas duas respostas estariam erradas.

No mundo quântico, o que pode acontecer acontece. A esta altura, você

deveria estar acostumado com isso.

Nesse caso, o decaimento e o não decaimento da substância radioativa podem acontecer com idêntica probabilidade; então os dois acontecem. Da mesma forma que uma partícula pode se deslocar para a esquerda e para a direita de um poste sólido simultaneamente, o decaimento radioativo também acontece e não acontece simultaneamente, desde que ninguém olhe. Como mencionado antes, na maior parte do tempo, essa *superposição* de possibilidades passa despercebida por nós, pois, por algum motivo obscuro, nunca ocorre em nossa escala, ou nunca a alcança. Em nosso experimento específico, a configuração é projetada para que nossos olhos possam vê-la: a simultaneidade de duas possibilidades quânticas (decaimento e não decaimento) está diretamente ligada à morte bastante dramática ou à sobrevivência de um gato.

Então, o que as regras do mundo quântico dizem?

Dizem isso: com os eventos de decaimento e não decaimento estando diretamente ligados ao veneno, o gato, desde que a caixa não esteja aberta, não deve estar nem vivo, nem morto, mas ambos.

Antes de você abrir a caixa, o decaimento ocorreu e não ocorreu; assim, o veneno foi liberado e não liberado.

Assim, o gato está morto e não está morto.

Morto e vivo.

Ao escutar isso, você abre imediatamente a caixa para verificar.

O gato salta para fora, ileso, e muito engraçadinho.

E não há corpo que jaz no fundo da caixa.

Você coça a cabeça.

Todo esse assunto de “superposição de estados” e “colapso subsequente das possibilidades quânticas” parece, de repente, um ardil bem elaborado, e não um fenômeno real.

Nós entendemos errado? O gato estava realmente morto e vivo por um tempo, ou era tudo um embuste?

Vejamos.

A abertura da caixa fez você interagir com o experimento, certo?

Sim.

Então, você interferiu. Você olhou. E, quando alguém olha, a natureza deve escolher.

Então, a escolha – o colapso, se real – deve ter acontecido, deixando o gato

vivo.⁵³

Porém, o destino do gato congelou antes da abertura da caixa? Ou isso aconteceu depois, extremamente rápido?

Você está de volta à pergunta inicial: um colapso aconteceu?

Em 1935, Schrödinger criou esse experimento mental, e, durante anos, ninguém foi capaz de responder a esse quebra-cabeça. No entanto, tempos depois, Serge Haroche, físico francês, e David J. Wineland, físico norte-americano, conseguiram imaginar um experimento real, capaz de detectar as diversas superposições que deviam entrar em colapso.

Eles não usaram um gato. Usaram, sim, átomos e luz.

E viram que as superposições quânticas são muito reais; que quase qualquer partícula quântica pode existir simultaneamente em estados distintos, mutuamente excludentes. Atualmente, essa é, de fato, a razão básica pela qual os engenheiros estão tentando desenvolver computadores quânticos. Utilizando a capacidade das partículas quânticas de se encontrarem em estados distintos simultaneamente, os computadores podem, em princípio, tornar-se exponencialmente mais poderosos do que pode ser alcançado com nossos computadores clássicos, fazendo computações “paralelas” ao mesmo tempo. Em 2012, Haroche e Wineland receberam em conjunto o Prêmio Nobel de Física por isso. De algum modo, eles provaram que o gato de Schrödinger estava realmente tanto morto quanto vivo, de modo simultâneo, em alguma fase.

Agora, onde está o mistério nesse caso?

Tem a ver com para onde vai.

As superposições são reais. Ótimo. Isso é o que Haroche e Wineland provaram. Temos de aceitar isso.

No entanto, quando você abriu a caixa, quando o colapso ocorreu e o gato vivo pulou para fora, para onde foram as possibilidades que não viu? Como deve ter sido real em certa fase, para onde foi o gato morto?

Esse é o mistério.

Muitos cientistas fizeram perguntas a esse respeito, e algumas supostas respostas começaram a florescer recentemente. Alguns cientistas estimam que as possibilidades que não foram observadas desaparecem, como gotas de tinta dentro de um lago; o lago, nesse caso, sendo o mundo em que vivemos, como se pérolas de possíveis realidades irrealizadas se espalhassem dentro da única realidade que prevalece; a única de que somos parte. Outros cientistas acreditam que nossa consciência tem algo a ver com isso tudo; que é o próprio

ato de experimentar ou até pensar que congela a realidade em um estado, criando-a por meio disso.

E então apareceu Hugh Everett III, físico teórico norte-americano.

Nascido em 1930, Everett era um homem muito estranho. Extremamente brilhante, estudou matemática, química e física. No fim, escreveu uma tese de doutorado sob a orientação de um dos físicos mais influentes dos Estados Unidos de todos os tempos, John Archibald Wheeler, da Universidade Princeton. Everett desistiu da física pouco depois do doutorado, sobretudo porque ele aparentemente acreditava que tudo era muito estranho. Provavelmente, as tentativas fracassadas de Wheeler para conseguir que as ideias de seu aluno fossem levadas a sério pela comunidade científica também não ajudaram. Aos 21 anos, deixando as matérias teóricas para trás, Everett começou a trabalhar na divisão de armas supersecretas das forças armadas norte-americanas. No fim, morreu por causa do consumo exagerado de álcool e cigarros. Numa semelhança sinistra com a vida de alguns poetas e pintores famosos, que dissiparam seus talentos em seus primeiros anos, enquanto eram desprezados pelos colegas, a dissertação de Everett, de 1956, tornou-se um clássico posteriormente. Nela, ele fez a afirmação extraordinária de que, como as ideias quânticas estavam funcionando tão bem nas escalas muito pequenas, elas deviam ser consideradas seriamente durante todo o tempo através de nossa escala. Tudo em nosso universo sendo feito de matéria quântica, tudo deveria, portanto, ser considerado uma imensa onda quântica de possibilidades existindo simultaneamente.

De acordo com esse ponto de vista, nenhum colapso acontece alguma vez. Todas as possibilidades existem.

De acordo com esse ponto de vista, o universo inteiro se ramifica a cada momento; então, uma escolha deve ser feita como resultado de uma experiência ou algo mais. De maneira insondável, diversos universos paralelos devem, portanto, existir, onde todas as possibilidades, todos os resultados alternativos, são fatos.

Segundo Everett, histórias paralelas devem nos cercar.

Você hesita entre dois elevadores antes de pegar um? Outro você, num universo paralelo de ramificação, escolhe o outro. Em outra possibilidade, você colide contra a parede entre os dois. Ainda em outra, pega as escadas. Portanto, todas as possibilidades são satisfeitas.

De certo modo, o entendimento literal de Everett a respeito da física quântica

afirma que, se você pôr de lado o egoísmo, nunca deverá ficar triste. Sempre que algo ruim acontecer para você aqui, infindáveis vocês paralelos, em infindáveis universos paralelos, escaparão da má notícia e se sentirão felizes.

Everett ainda está vivo e até lendo este livro, num ainda outro infinito dessas realidades paralelas. Em algumas, ele gosta do que eu escrevo a respeito dele. Em outras, não gosta. Em outras ainda, ele mesmo escreve este livro, e, nele, o gato de Schrödinger é um cachorro verde.

De acordo com a interpretação de Everett, nenhuma escolha real é feita alguma vez pela natureza. Todas as possibilidades acontecem.

Você simplesmente não sabe disso.

Não surpreende que ele desistiu da física.

De fato, a ideia de Everett é estranha, mas agora foi considerada seriamente por alguns dos maiores físicos da atualidade, com diversos modelos matemáticos concernentes às origens do espaço-tempo fazendo uso dela. Certamente, não há confirmação (ou rejeição) experimental em relação à afirmação de Everett, mas há um motivo atraente de por que a realidade que vivemos não é uma superposição de possibilidades quânticas: as possibilidades que não experimentamos são bastante reais, mas em outro lugar.

Agora, enquanto se acostuma com essa ideia, vamos resumir rapidamente o que você experimentou até aqui.

Desde o início de sua jornada, se deslocou separadamente no interior do muito grande e do muito pequeno. Movimentando-se através de reinos cósmicos, descobriu a aparência da estrutura de grande escala de nosso universo e como ela é governada pela relatividade geral. No domínio do muito pequeno, você viu que as regras quânticas da natureza são diferentes daquelas que são usadas em nossos assuntos cotidianos. Até essa parte, você, portanto, deslocou-se ao longo do que é *conhecido*, de modo tanto teórico quanto experimental. Você viu com o que o universo parece ser, independentemente da escala, do ponto de vista de um cientista do início do século XXI.

Nessa parte, você começou a vislumbrar os limites desse conhecimento. Você viu que não só a teoria da relatividade geral e a teoria quântica de campos relutam em dialogar entre si, mas também que as leis quânticas não parecem governar nossas rotinas, por motivos que podem, para alguns, ir tão longe quanto envolver a existência de mundos paralelos.

Na Parte VII, você verá coisas ainda mais estranhas.

Por enquanto, porém, continue a exercitar sua mente e deixar o muito

pequeno voltar para Einstein. O que dizer de sua teoria? Quais são os mistérios que podem ser encontrados nela?

Há algum?

São tão ubíquos quanto os infinitos que desfiguram a teoria quântica de campos?

Para as duas últimas perguntas, a resposta é sim.

53 O gato também podia estar morto, mas finais felizes são mais populares.

Capítulo 4

Matéria escura Esqueça gatos, cachorros e universos paralelos de realidades alternativas.

Esqueça o mundo quântico.

Esqueça seu minivocê.

Agora, você está no espaço, como mente.

Você viu que o muito pequeno está cheio de mistérios, e agora pretende verificar se a teoria de Einstein funciona em toda parte, ou se ela também apresenta falhas, mesmo sem tentar se converter numa teoria quântica.

Então, você está no espaço. A Terra está atrás e você se desloca para a frente. Passa a Lua, o Sol e as estrelas próximas.

Até aqui, a teoria da gravidade de Einstein funciona perfeitamente. As estrelas e os planetas se movem como previsto.

Você se dirige para a Via Láctea, no meio intergaláctico, onde se detém.

A Via Láctea está debaixo de você, bem ali. Outras galáxias brilham distantes. São espirais imensas, com centenas de bilhões de estrelas que emitem luz num universo escuro.

Do que aprendido a respeito de gravidade, você sabe que, exatamente como os planetas ao redor do Sol, as velocidades de quaisquer estrelas dentro de uma galáxia não podem ser aleatórias. As estrelas que se deslocam muito rápido escapam do abrigo de suas galáxias e vagam para sempre, como brilhos solitários, por imensas distâncias que separam as galáxias umas das outras. Se as estrelas se deslocam muito lentamente, caem no declive de espaço-tempo criado por todas as outras estrelas; um declive que as fará efetivamente se mover na direção do centro das galáxias, a saliência central cheia de estrelas,

onde elas acabam sendo engolidas ou destruídas pelo buraco negro gigantesco que rapina pacientemente por ali. Sem a velocidade correta para permanecer numa órbita estável, a estrela fica fora de sua galáxia ou é condenada a cair, exatamente como uma bola de gude girando numa tigela de salada cai ou é ejetada.

Você deve se lembrar de que a lei da gravidade de Newton falhava quando a gravidade era muito forte. Perto do Sol, suas equações requeriam correções para explicar o desvio de Mercúrio. Einstein descobriu essas correções revolucionando nossa visão do espaço e tempo. E agora, cem anos depois, é a vez de Einstein encarar uma mudança de escala. O que dizer da gravidade de Einstein ao redor de galáxias inteiras? Sua teoria de curvas de espaço-tempo funciona quando fica diante de centenas de bilhões de estrelas, e não apenas de uma?

Isso é o que você está prestes a constatar.

Você pega um cronômetro e começa a cronometrar as estrelas enquanto elas se deslocam pela Via Láctea. Examinar 300 bilhões delas simultaneamente é complicado. Então, você começa com os arredores, perto da extremidade de um dos magníficos braços espiralados, distante de Sagittarius A*, nosso próprio buraco negro supermassivo.

Você conta dez segundos.

A estrela que você cronometrou percorreu 2,5 mil quilômetros. Nada mal.

Isso corresponde a uma velocidade média de cerca de 900 mil quilômetros por hora ao redor do centro da galáxia. Nada mal, em absoluto.

Suas estrelas próximas são rápidas da mesma forma.

De fato, duas estrelas que se situam à mesma distância do centro de nossa galáxia possuem a mesma velocidade; as mais lentas estão mais distantes, enquanto as mais rápidas, como a veloz S2 que você encontrou há algum tempo, ficam mais próximas. E, se você quiser saber quanto tempo leva para uma dessas mais distantes completar uma volta inteira em torno da Via Láctea, a resposta é... Cerca de 250 milhões de anos terrestres. Uma longa jornada. A Via Láctea é grande. O Sol (e, portanto, a Terra), estando um pouco menos distantes, deslocam-se ao redor da Via Láctea em pouco menos de 225 milhões de anos; período denominado *ano galáctico*. A última vez que a Terra estava na posição galáctica que está hoje, os dinossauros ainda tinham 160 milhões de anos de vida... Usando essa terminologia, o Big Bang ocorreu há cerca de 61 anos galácticos, e, se começarmos a partir de hoje, após vinte outras voltas, a Via Láctea e a galáxia de Andrômeda ficarão tão perto uma da outra que

iniciarão um processo de colisão. Consequentemente, o Sol explodirá alguns meses galácticos depois. Exposto dessa maneira, não parece tão longe...

Certo.

Até aqui tudo bem.

Aparentemente, não há nenhum problema aqui com a teoria de Einstein, exceto...

Exceto que há.

Para ser honesto com você, a sua não é a primeira verificação de quão rápido essas estrelas se deslocam ao redor de nossa galáxia. Suas velocidades se tornaram conhecidas há não muito tempo, desde o início dos anos 1930, quando Jan Oort, astrônomo holandês, as mediu.

No entanto, Jan Oort foi um pouco além.

Ele avaliou primeiro a quantidade de matéria contida dentro de toda a Via Láctea. Em seguida, verificou se as velocidades que observou estavam de acordo com o que era esperado, para as estrelas não caírem nem escaparem.

Não estavam de acordo.

Não estavam de acordo, em absoluto.

*

Estando lá em cima, sobre a Via Láctea, você pode verificar isso por si mesmo.

Somando a massa de cada estrela, nuvem de poeira e tudo o mais que vê pertencente à nossa galáxia de origem, você chega à mesma conclusão enigmática: sem dúvida, não há matéria o bastante para impedir *qualquer* estrela de escapar, dada sua velocidade.

E, ao contrário da divergência entre a teoria de Newton e a órbita de Mercúrio, a diferença aqui não é muito pequena.

Deveria haver *cinco vezes* mais matéria do que você pode ver. Caso contrário, todas as estrelas deveriam escapar. Incluindo o Sol.

Você deve ter ignorado alguma coisa. Assim como Oort.

Não são apenas algumas centenas de milhões de estrelas e suas poeiras equivalentes que estão faltando, ou você poderia ter se culpado, ou responsabilizado Oort, por avaliar de modo equivocado toda a coisa. Isso teria sido aceitável. Mas cinco vezes a quantidade? O que está acontecendo? E, para início de conversa, quem era esse Oort? Podemos confiar nele?

Podemos. Ele não era apenas um astrônomo comum. De fato, seus *insights*

incríveis nos ajudaram a entender muito do que você viu durante sua viagem pelo sistema solar e pela Via Láctea na primeira parte deste livro. Foi ele, por exemplo, que demonstrou que o Sol não está no centro de nossa galáxia (isso pode parecer óbvio agora, mas não era antes de ele provar isso). Ele também é o homem que formulou a hipótese da existência de um imenso reservatório de cometas (bilhões e bilhões deles), que agora ostenta seu nome, a Nuvem de Oort, que você cruzou nos limites externos do sistema solar, antes de ingressar no âmbito gravitacional da anã vermelha Proxima Centauri.

Portanto, Oort não era um cientista comum, e, em 1932, para explicar a divergência absurda entre a matéria que ele conseguia ver em toda a nossa galáxia e a velocidade de suas estrelas, ele fez uma afirmação surpreendentemente corajosa. Ele sustentou que um tipo desconhecido de matéria preenchia a Via Láctea. Um tipo de matéria que ainda não fora detectada em qualquer forma, nem aqui na Terra, nem em qualquer outro lugar, pois não interagia com a luz, tornando impossível enxergá-la com qualquer tipo de telescópio de captação de luz. Ele batizou isso de *matéria escura*. De acordo com Oort, os efeitos visíveis da matéria escura são só indiretos, por meio da gravidade: a matéria escura não pode ser vista, mas curva o espaço-tempo como a matéria comum, ainda que quase certamente não seja matéria comum. Não pode ser feita das mesmas partículas que compõem tudo o que conhecemos; caso contrário, poderíamos enxergá-la.

Uma descoberta assim pode parecer muito grande – e animadora – para ser verdade, e, por mais admirável que Oort possa ter sido, ninguém é perfeito. Ele talvez tenha cometido um erro. Para investigar isso, você decide observar as outras galáxias, a fim de ver como elas se movem ao redor umas das outras, exatamente como Fritz Zwicky, astrônomo suíço, fez cerca de um ano após a afirmação inicial de Oort, em 1933.

Se a matéria escura fosse real e estivesse presente e ativa de modo gravitacional não só dentro da Via Láctea, mas também dentro e ao redor de outras galáxias, não só modificaria como as estrelas se movem nas galáxias, mas também afetaria como as galáxias se movem ao redor umas das outras.

Assim, você as contempla, concentrado.

Você analisa a espetacular dança cósmica desses imensos ajuntamentos de estrelas luminosas e... Não pode mais duvidar.

Exatamente como Zwicky, você é obrigado a admitir que todas as galáxias não se movem muito rápido ao redor umas das outras para ocultar uma enorme quantidade de matéria escura ativa através da gravidade.

E matéria escura não é matéria.
Não é antimatéria.
É outra coisa.
Ninguém sabe o quê.

Desde os anos 1930, muitos outros testes foram realizados, e todos chegaram à mesma conclusão. A matéria escura está ali. Existe. Em todo lugar onde há matéria, existe matéria escura indistinguível por perto. E, ainda que eu tivesse tentado, ao longo deste livro, mostrar-lhe tudo o que eu gostaria de compartilhar com você acerca de nosso universo, nesse momento tenho de admitir que não consigo levá-lo mais longe do que isso.

Por quê?

Porque mesmo hoje, mais de oitenta anos após a suposição corajosa de Oort, ainda não temos um indício do que a matéria escura é feita. Sabemos que ela existe. Sabemos *onde* ela está. Temos mapas de sua presença dentro e ao redor das galáxias, em todo o universo. Até temos restrições rigorosas a respeito do que ela *não* é, mas não temos nenhum indício *do que* é. E, sim, sua presença é impressionante: para cada quilo de matéria comum feita de nêutrons, prótons e elétrons, há cinco quilos de matéria escura, feita de sabe-se lá o quê.

Matéria escura.

Mistério gravitacional inesperado número um.

Pode significar que a teoria de Einstein não funciona nessas escalas, exatamente como a de Newton não funciona muito perto do Sol. No entanto, muitas verificações independentes foram feitas. De fato, a matéria escura parece estar em toda parte, ao redor das galáxias, ao redor de nossa própria Via Láctea e em todo o universo, e você não pode vê-la.

Aparentemente, existem muito mais coisas invisíveis em nosso universo do que coisas visíveis.

Capítulo 5

Energia escura

Ao longo dos imensuráveis períodos de tempo que passaram após a Idade da Trevas de nosso universo, ocorreram muitas colisões galácticas; galáxias inteiras se chocando e se fundindo. No espaço sideral, a violência está em toda parte, e as galáxias que você está observando agora são apenas a fração visível disso.

A matéria escura, sobrepujando a matéria comum na proporção de cinco para um, não pode ser vista, mas há muito dela que deve ter desempenhado – e ainda está desempenhando – um papel nessa valsa cósmica testemunhada por você. Uma valsa cujos bailarinos, você agora sabe, são ajuntamentos de estrelas envolvidos em capas invisíveis feitas de matéria escura.

Quanto mais observa todas essas galáxias se movendo – quanto mais bailarinos e formas são vistos –, mais mundos você começa a imaginar lá fora, com os céus completamente diferentes dos nossos. E, de repente, começa a se perguntar se alguma civilização distante já achou respostas para nossas perguntas humanas... Mas você paralisa de assombro, ofuscado.

Uma fonte de luz muito poderosa atinge seus olhos.

Você perscruta dentro da noite para identificar a origem, mas o sinal de luz sumiu.

Tão subitamente, porém, outro o atinge, vindo de algum lugar diferente, incrivelmente distante.

E outro ainda.

Saindo de seu devaneio, você concentra seus pensamentos nas galáxias da possível origem desses sinais de luz.

Sem saber o motivo, seu coração está disparado. Você olha para as luzes, para a maneira pela qual elas se perdem na distância, movendo-se ao redor umas das outras.

Algo está errado.

As galáxias das quais essas luzes estão vindo não se perdem na distância do jeito que deveriam.

Não estamos falando aqui de como elas giram ao redor umas das outras, e sim a respeito da expansão do universo, acerca de como *todas* as galáxias se perdem na distância, como sementes de papoula num bolo que cresce. Considerando o que você aprendeu a respeito dessa expansão, essas galáxias não estão se movendo direito.

Esse é o mistério gravitacional inesperado número dois.

E envolve muitíssimo mais energia oculta do que matéria escura.

Para entender isso, você precisa saber como avaliar distâncias neste nosso universo.

Quando estava deitado na praia de sua ilha tropical, pouco antes de começar a jornada ao espaço sideral, como você era capaz de dizer qual estrela no céu noturno estava próxima e qual estava distante? Evidentemente, o brilho não é suficiente. As estrelas se apresentam em quase todos os tamanhos, e sua luminosidade real pode diferir muito. Uma estrela brilhante, como vista da Terra, pode ser imensa e estar muito distante, ou pode ser pequena e estar muito perto. Outro ardil deve se usado e, historicamente, os cientistas propuseram três ferramentas para avaliar as distâncias cósmicas.

A primeira envolve qualquer objeto, seja um planeta ou uma estrela, que está bastante perto de nós. É a mais fácil das três e utiliza o senso comum (nesse caso, não há nada quântico acontecendo; assim, o senso comum é permitido). Imagine-se observando uma árvore através da janela lateral de um carro numa estrada. As árvores próximas da estrada passam rapidamente, enquanto aquelas que estão mais afastadas parecem se mover num ritmo mais lento. As cadeias de montanhas, acima do horizonte, parecem ocasionalmente não se mover. Elas podem ser usadas como um fundo fixo. No espaço, o mesmo conceito se aplica. Enquanto a Terra orbita o Sol, os objetos próximos possuem um movimento aparente, que é um tanto evidente contra o fundo das estrelas muito distantes, que parecem fixas. Verificar quanto a posição do objeto muda em relação a esse fundo, enquanto a Terra orbita o Sol, permite que os cientistas determinem quão distante no espaço está esse objeto. Envolve matemática que Euclides teria entendido há mais de 2,2 mil anos. Funciona muito bem para avaliações de curta distância; quer dizer, dentro da Via Láctea. Mas não funciona para determinar distâncias galácticas. As galáxias estão muito

distantes. Como você, na Terra, orbita o Sol, sua perspectiva do cosmos pode mudar até 300 milhões de quilômetros do verão para o inverno, mas isso não é suficiente para ver as galáxias se moverem: elas ainda são parte do fundo fixo. Para estimar onde elas estão, você precisa do ardil número dois, que envolve um tipo muito específico de estrela denominado cefeida.

As cefeidas são estrelas muito brilhantes, cuja luz oscila entre um nível de intensidade máximo e mínimo com impressionante regularidade. Do modo bastante surpreendente, os cientistas descobriram um modo de ligar esse período oscilante à quantidade total de luz emitida por elas. E isso é tudo de que precisam para dizer quão longe elas estão: da mesma forma que o som de um berrante diminui em função da distância da fonte, o mesmo ocorre em relação à luz. Colher a parcela de luz emitida por uma cefeida longínqua quando ela alcança a Terra fornece sua distância. E, felizmente, há inúmeras cefeidas no espaço sideral.

Mas esse ardil também tem seus limites: para medir as maiores distâncias do universo, as estrelas cefeidas individuais não podem mais ser usadas, pois mesmo os telescópios mais poderosos não conseguem distingui-las dos grupos de estrelas circundantes. Para investigar o universo muito profundo, um terceiro ardil é necessário.

Você deve se lembrar do trabalho de Edwin Hubble, astrônomo norte-americano, descrito na Parte II deste livro. Na década de 1920, Hubble tornou-se a primeira pessoa a notar que as galáxias distantes estão se afastando de nós, que o universo está se expandindo. Alguns de seus amigos confirmaram amavelmente esse fato fazendo observações do céu noturno ao redor da Terra com seus telescópios de 1 bilhão de dólares.

Na década de 1920, Hubble utilizou a mudança de cor das luzes vindas das cefeidas de galáxias distantes para descobrir as velocidades delas, e observou que o ímpeto delas de se afastar de nós era proporcional à distância delas: uma galáxia duas vezes mais distante do que outra se afastava duas vezes mais rápido. Essa lei é denominada *lei de Hubble*.

O ardil número três envolve o uso da lei de Hubble ao contrário, onde as cefeidas não podem ser selecionadas entre outras estrelas nos arredores. A partir do modo pelo qual as cores são trocadas na luz vinda de galáxias distantes, os cientistas podem dizer quanto da expansão de nosso universo essas luzes percorreram. Dessa maneira, é possível dizer a que distância a galáxia está agora.

A lei de Hubble é bastante simples e se ajusta muito bem em relação ao que é

conhecido: o espaço e tempo tornaram-se o que são agora há alguns bilhões de anos; o espaço-tempo se expandiu desde então; e, como parece normal para uma expansão desencadeada por uma liberação violenta de energia (isto é, o Big Bang), o ritmo da expansão desacelerou ao longo dos bilhões de anos seguintes.

Tudo está perfeito em relação a esse arranjo muito lógico.

Exceto que não se ajusta com o que você acabou de ver.

As erupções de luz que seus olhos captaram estão em desacordo com isso. A maneira pela qual as cores mudaram não corresponde ao quadro grandioso, belo e coerente descrito acima. Algo está errado, e o mistério número dois perdura ali, em algum lugar.

Para descobrir do que se trata, viajemos um pouco e observemos o que desencadeou as explosões de luz extraordinariamente poderosas que atingiram seus olhos.

Começando de cima da Via Láctea, você se dirige para uma galáxia espiralada especialmente bela e colorida, situada a 8 bilhões de anos-luz de distância. Cruza as distâncias imensas e em expansão que separam nossa família cósmica dessa outra ilha de luzes e, uma vez perto dela, ingressa nela pela lateral. Você sobrevoa milhões de suas estrelas, atravessa nuvens de poeira do tamanho de milhares de sistemas solares somados, e, de repente, para de novo.

Bem na sua frente, não há um objeto luminoso, e sim dois, que atraem sua atenção. Eles orbitam um ao outro, muito rápido, de um modo um tanto assimétrico. Um deles é uma estrela vermelha, imensa e colérica. O outro é outra estrela, também brilhante, mas muitíssimo menos. Mais ou menos do tamanho da Terra. E é um tanto branca. Mas não se deixe enganar. Apesar da grande diferença de tamanho, a pequena, nesse caso, é a líder, e não a gigante vermelha. A pequena bola branca é o que resta do centro de uma estrela que explodiu há algumas centenas de milhões de anos antes de sua chegada. Quando a estrela morreu, como ela expeliu suas camadas externas em todas as direções, seu cerne ficou comprimido e se tornou o que agora brilha bem na sua frente. Uma *anã branca*. Um objeto extremamente denso e quente. As anãs brancas normais levam dezenas de milhões de anos para esfriar e desvanecer, tornando-se, no fim, frias, escuras e errantes espaciais solitárias. Essa, porém escolheu um caminho totalmente distinto.

Para lhe dar uma ideia da densidade de uma anã branca, confeccionemos uma bola de beisebol com materiais diferentes. Uma bola normal, feita de

borracha, couro e ar, pesa cerca de 145 gramas. O mesmo volume cheio de chumbo resultaria numa bola pesando cerca de 2,3 quilos. Cheia com o elemento mais denso naturalmente encontrado na Terra – denomina-se *ósmio* –, a bola pesa quase duas vezes mais: cerca de 4,5 quilos.

Agora, encha o mesmo volume com o material de uma anã branca, e você obtém uma bola de beisebol com peso de 200 toneladas. No reino do extremamente denso, as anãs brancas se classificam em terceiro lugar. Pouco atrás das estrelas de nêutron (assim chamadas porque só contêm nêutrons) e dos buracos negros. Portanto, poderíamos esperar reações extraordinárias de fusão nuclear ocorrendo no interior delas, como no interior de uma estrela, mas não é o caso. A menos que elas encontrem um jeito de crescer, quer dizer. Na realidade, as anãs brancas permanecem anãs brancas desde que contenham menos de 140% da massa do Sol.

No entanto, essa tem algo para se alimentar. Uma estrela. Uma gigante vermelha.

A gigante vermelha está sendo devorada viva, na frente de seus olhos.

Energizada em excesso de modo gravitacional pela enorme densidade da anã branca, a estrela está condenada. Não consegue nem mesmo segurar suas camadas externas. Enquanto orbita a anã branca, sua superfície é despedaçada, formando um longo rastro de plasma brilhante, pelando de quente, que você pode ver espiralando na direção de seu voraz parceiro de dança, criando um rio cósmico iluminado e tortuoso, que serpenteia até a superfície da anã branca, onde é dominado e comprimido.

Energias tremendas estão em ação aqui. O próprio espaço-tempo pode sentir isso: as ondas gravitacionais estão sendo criadas a partir da dança da gigante vermelha e da anã branca, gerando ondulações que se propagam através do próprio tecido do universo, alterando o espaço e tempo e, concomitantemente, banhando os objetos próximos.⁵⁴

E, enquanto observa cada vez mais matéria da estrela gigante caindo na superfície da anã branca, você, justificadamente, sente que algo extraordinário está prestes a acontecer. De fato, a anã branca ganhou muito peso, alcançando 140% da massa do Sol; um limite de massa. De repente, a pressão em seu centro torna-se suficiente para provocar uma nova reação em cadeia, espantosamente violenta, que leva a anã branca a um fim extraordinário. Num piscar de olhos, ela explode. A explosão é 5 bilhões de vezes mais brilhante que o Sol. Um canto do cisne impressionante.

Essas explosões são denominadas *supernovas tipo Ia*. Ocorrem uma vez por

século, aproximadamente, em uma determinada galáxia. São incrivelmente convenientes porque são todas muito parecidas. Até mesmo idênticas: sempre ocorrem quando uma anã branca alcança 140% da massa do Sol, após se alimentarem de outra estrela, e, portanto, elas sempre brilham com a mesma luz: 5 bilhões de Sóis combinados num pontinho não muito maior que a nossa Terra. Muito mais brilhantes que as cefeidas, são velas ideais por meio das quais se investigam os locais mais distantes de nosso universo e se verificam as leis da expansão de Hubble.

As supernovas tipo Ia são tão mais brilhantes que qualquer outra coisa que, ao contrário das cefeidas, os telescópios podem distingui-las nas galáxias distantes. Conhecendo seu brilho intrínseco, assim como o das cefeidas, os cientistas podem deduzir quão longe estão e quão rápido estão se afastando de nós.

Em 1998, duas equipes independentes estudando essas supernovas distantes publicaram seus resultados. Uma era liderada por Saul Perlmutter, astrofísico norte-americano, e a outra, por Brian Schmidt e Adam Riess, astrofísicos também norte-americanos. As duas equipes descobriram que cerca de 5 bilhões de anos atrás, após mais de 8 bilhões de anos de comportamento normal, a expansão do universo começou a se acelerar.

A comunidade científica sofreu um grande choque.

E você também deveria sofrer.

Não só não era esperado, como também o resultado oposto pareceu aceitável.

Em grandes escalas, é a teoria da relatividade geral de Einstein que governa tudo, e a gravidade de Einstein, como a de Newton, só leva em conta objetos que atraem uns aos outros. Independentemente do que preenche o universo, seja matéria, antimatéria ou matéria escura, deve, portando, mais cedo ou mais tarde, desacelerar qualquer expansão. Não acelerá-la.

As observações de Perlmutter, Riess e Schmidt, porém, afirmaram o contrário, e a única saída possível relacionada a essa contradição era que alguma coisa muito nova fosse apresentada para explicar essa aceleração. E essa alguma coisa tinha de preencher o universo inteiro. E precisava ter uma propriedade extraordinária: precisava estar agindo como uma força *antigravitacional*, repelir matéria e energia, em vez de atraí-las.

Por algum motivo desconhecido, essa nova força superou todas as outras forças de grande escala de nosso universo há 5 bilhões de anos. Antes disso, seu efeito foi zero.

Essa energia um tanto enigmática foi denominada *energia escura*, e, curiosamente, para explicar seus efeitos observados, deveria existir em grande quantidade.

De acordo com as avaliações modernas, uma quantidade enorme.

Três vezes mais que a matéria escura.

Quinze vezes mais que a matéria comum de que somos feitos.

Como resultado da descoberta que a expansão de nosso universo se acelera em vez de desacelerar, Perlmutter, Schmidt e Riess, em 2011, foram agraciados com o Prêmio Nobel de Física, e todo o conteúdo energético de nosso universo teve de ser completamente reavaliado. Hoje, de acordo com as estimativas de satélite da Nasa, consiste no seguinte:

Energia escura: 72%.

Matéria escura: 23%.

A matéria que conhecemos (incluindo luz): 4,6%.⁵⁵

Tudo o que você viu até agora ao longo de suas jornadas corresponde a apenas 4,6% do conteúdo total de nosso universo.

O resto é desconhecido.

No entanto, ao contrário da matéria escura, a existência de alguma forma de energia escura fora postulada no passado, há cerca de cem anos. Pelo próprio Einstein. Ele até a chamou de sua “maior mancada”, embora hoje pareça que sua mancada foi tê-la chamado de mancada.

Na Parte II, você deve se lembrar de que Einstein não gostou da ideia de um universo mutável, evolutivo. Ele preferiu considerar que o tempo e espaço eram, tinham sempre sido, e sempre serão como ele os experimentou. Infelizmente, sua teoria da relatividade geral, em sua forma mais simples, dizia o contrário. Dizia que o espaço-tempo podia mudar e mudava. Para levar em conta a possibilidade de um universo que não evoluía, Einstein descobriu que podia de algum modo mudar suas equações, adicionando um novo termo; o único termo extra que elas permitiam. Na época, foi um gesto corajoso: as equações de Einstein significavam (e ainda significam) que o conteúdo energético local de nosso universo é absolutamente equivalente à sua geometria local; assim, se um desses dois for capaz de mudar, o outro também será. Portanto, adicionar uma nova forma de energia em toda parte mudava a forma e a dinâmica do universo em toda parte. Por energia, Einstein queria dizer tudo o que possui um efeito gravitacional, que agora inclui matéria, luz, antimatéria, matéria escura e tudo o mais que possua um comportamento gravitacional

normal, satisfatório e atrativo.

No entanto, o termo que Einstein adicionou podia ter um ou outro efeito (atrativo ou repulsivo), dependendo de seu valor. Fisicamente, corresponde a uma energia que preenche o universo inteiro. Ele batizou isso de *constante cosmológica*.

Graças a isso, o universo podia ser estático e bem-comportado, obedecendo às suas opiniões filosóficas. Aliviado, Einstein foi capaz de voltar a dormir à noite.

Cerca de dez anos depois, porém, o trabalho de Hubble tornou a expansão do universo um fato experimental. O universo deixou de ser estático. Assim, Einstein recuou em relação à sua constante cosmológica, chamando sua apresentação de sua maior mancada.

Cerca de cem anos depois, agora parece, um tanto ironicamente, que o que Einstein apagou no papel pode ser a ferramenta oportuna que os teóricos necessitam para explicar o maior mistério jamais desvendado pela humanidade: a energia escura que impele a aceleração da expansão de nosso universo. A constante cosmológica pode tornar o universo o completo oposto do estático, passando por expansão acelerada. Pode solucionar o enigma da energia escura. Então, o único problema seria descobrir sua própria origem. Na Parte VII, voltaremos a esse assunto.

Enquanto isso, gostaria muito que todos pudessem cometer gafes como a mancada de Einstein.

Independentemente do que seja, a ideia de energia escura já mudou nossa visão de cosmologia. Antes da descoberta de Perlmutter, Riess e Schmidt, acreditava-se que nosso universo tinha dois possíveis futuros, dependendo de seus conteúdos gerais. Com demasiada matéria, sua expansão estava condenada a reverter em algum estágio, com a gravidade apossando-se dela, como se uma mola muito forte estivesse fixada a tudo que se afastava. Nesse cenário, o universo inteiro se contrairia e tudo terminaria no que era denominado *Big Crunch* [Grande Colapso]. É como um Big Bang, mas ao contrário, com o tempo avançando rápido, e não retrocedendo.

A outra possibilidade era que não havia matéria ou energia o bastante para impedir tudo de se separar. A apresentação de Perlmutter, Riess e Schmidt da energia escura afirma que esse é o futuro mais provável. A menos que outra surpresa atinja nossos telescópios um dia, as chances são que esse campo de força de antigravidade assegure que a expansão continue para sempre, levando

a amanhã cósmicos muito frios. As duas possibilidades (o Big Crunch e a morte por congelamento) são perspectivas bastante sombrias, concordo. No entanto, você vai ver na próxima e última parte, essa morte térmica pode não ser o fim de tudo.

Nessas circunstâncias, de novo, também é possível que a teoria de Einstein simplesmente não se aplique nessas escalas enormes. Nesse caso, não podemos utilizar suas equações para deduzir a existência da energia escura. Da mesma forma que as ideias de Newton testadas perto de uma grande estrela levam a órbitas erradas, as equações de Einstein podem muito bem se afastar da realidade em algum estágio. Hoje, porém, as probabilidades são de que a energia escura seja real, e há inclusive uma possibilidade de que tenha origem quântica. Uma perspectiva muito excitante para todos aqueles que gostam de ligar o muito pequeno ao muito grande.

Em todo caso, independentemente do que sejam, a matéria escura e a energia escura são algo muito importante. A gravidade de Newton nos ajudou a encontrar novos planetas ao redor do Sol. A gravidade de Einstein nos levou a mistérios ainda maiores; mistérios tão grandes que podem conter indícios, ou chaves que abrem portas, de domínios desconhecidos de nossa realidade de grande escala.

Com a necessária humildade que essas descobertas impõem sobre nós, agora chegou a hora de você ver por que a teoria da relatividade geral não pode ser a teoria de Tudo, e por que a teoria de Einstein prediz sua própria derrocada.

⁵⁴ Se quiser saber que efeito a onda gravitacional pode ter sobre você, apresentamos alguns números estimados, com aproximações bastante simplificadas. Se estivesse perto dos dois buracos negros cuja colisão foi detectada pelos LIGO, suas medidas teriam oscilado em cerca de 2 ou 3%. Pode não parecer muito. No entanto, o mesmo ocorreria com tudo ao seu redor, incluindo planetas e estrelas. Então, à medida que se propagaram para fora, as ondas se enfraqueceram, à semelhança das que são criadas por um meteorito que atinge um oceano e perdem força com a distância. Quando alcançaram a Terra, 1,3 bilhão de anos depois, o efeito das ondas gravitacionais resultantes da fusão dos buracos negros era absurdamente pequeno. Estamos falando de uma variação não maior que a largura de um fio de cabelo humano em relação à distância entre a Terra e Proxima Centauri, a estrela visitada por você na Parte I, a mais próxima depois do Sol, a quatro anos-luz de nós. Eis quão eficazes os LIGO são. Claro que colisões de buracos negros são acontecimentos extraordinariamente violentos. As ondas gravitacionais criadas pela anã branca engolindo a estrela gigante, que você está observando agora, são muito menores. Não obstante, é um acontecimento violento. Sobre tudo, em relação ao fim.

⁵⁵ O total não resulta em 100% porque sempre existem algumas incertezas nos números obtidos. Fonte: Sonda Wilkinson Microwave Anisotropy (WMAP).

Capítulo 6

Singularidades

Você se lembra dos infinitos quânticos?

E da consequência catastrófica sobre o espaço-tempo de um número infinito de partículas que apareciam em toda parte, o tempo todo, no vácuo da teoria quântica de campos?

Para lidar com isso, os cientistas tiveram de desligar a gravidade e se virar com aqueles infinitos como se eles não estivessem ali, ou ignorando o que se situava no ainda menor. Então, isso funcionou muito bem, desde que a gravidade não fosse quântica.

Agora, deixemos de lado a matéria quântica por um pouco mais de tempo.

E o que dizer da gravidade sozinha? É possível para a matéria que conhecemos, a matéria clássica que experimentamos no dia a dia, ter o mesmo impacto sobre o tecido de nosso universo? Ela pode fazer o espaço-tempo colapsar em si mesmo?

A resposta é um claro e distinto sim. E dessa vez até vemos o resultado no céu.

A imagem de muitas bolas de gude muito pesadas lançadas sobre um lençol de borracha funciona bem aqui.

Devido à curvatura que criam, as bolas de gude adjacentes devem rolar mais perto umas das outras, criando um pedaço que curva o lençol de borracha ainda mais. Com cada nova bola de gude rolando para baixo, para se juntar ao grupo, a borracha fica cada vez mais distorcida.

Em certo estágio, ou porque todas as bolas de gude caíram ou porque as restantes estão muito longe, isso deve acabar.

Nada de estranho a esse respeito.

Contudo, se o lençol de borracha for macio como goma de mascar, se não for

forte o bastante para manter o pedaço com bolas de gude em equilíbrio com sua própria tensão, poderá continuar se curvando cada vez mais, mesmo se nenhuma outra bola cair dentro, até se romper.

Nenhum material é bastante forte para manter *qualquer* peso. Portanto, a ideia de limite de densidade: ponha muito peso sobre uma superfície muito macia, e a superfície ao redor da massa distorcerá cada vez mais e, finalmente, se romperá.

Agora, o que dizer do espaço-tempo?

Embora não deva se romper, o espaço-tempo reage a densidades muito altas talvez de maneira ainda mais radical, pois o tecido, nesse caso, não é borracha, mas espaço e tempo.

Espaço-tempo. Não é um pano liso, e sim um volume. Mais tempo.

O espaço-tempo se curva e estica ao redor do objeto contido nele, seja matéria ou qualquer outro tipo de energia. Esse é o entendimento de Einstein sobre isso.

Continue amontoando energia (independentemente de sua forma) num determinado volume, e, como o lençol de borracha, você corre o risco de acabar com um problema. Além de um certo limite, nada será capaz de impedir a curvatura do espaço-tempo de ficar cada vez mais íngreme, mesmo se nada mais cair nela.

Enquanto a curvatura fica pior, tudo o que começou a curvatura fica espremido, tornando a densidade lá dentro ainda maior; um círculo vicioso, que leva de maneira inexorável ao colapso do espaço-tempo, um colapso desfigurado com os infinitos com os quais a relatividade geral não consegue lidar. Esses infinitos são denominados *singularidades*. Não são iguais aos infinitos quânticos que você viu antes. Não têm nada a ver com processos quânticos. Ocorrem quando existe muita massa, ou energia, num volume muito pequeno. São localizados. E a possibilidade de sua existência anuncia o colapso da teoria da gravidade de Einstein.

*

No fim da década de 1960 e no início da de 1970, quando quase todo mundo estava drogado, escutando música psicodélica ou procurando novas partículas fundamentais, Roger Penrose, físico matemático britânico, e Stephen Hawking demonstraram, numa série de teoremas famosos, que esses colapsos ocorrem necessariamente num universo regido, em grandes escalas, pela relatividade geral. Com seus teoremas, mostraram que a teoria da relatividade geral de

Einstein tinha a própria característica humilde de prever sua própria derrocada.

Da mesma forma que a teoria de Newton precisou de uma teoria mais ampla para explicar o desvio de Mercúrio, ficou claro que a teoria de Einstein precisava ser expandida, mesmo que fosse para explicar esses colapsos.

“Onde essas singularidade ocorrem?”, você se pergunta. Podem ser encontradas na natureza ou são meramente delírios teóricos?

São reais, e sei que você sabe onde encontrá-las.

Uma singularidade assim, a mãe de todas elas, situa-se no passado de nosso universo, quando a energia do universo inteiro estava confinada num volume muito pequeno.

De certa forma, nosso universo nasceu dessa singularidade, pois foi a partir dela que o espaço e tempo se tornaram o que são hoje.

Outra singularidade se situa bem fundo no interior de todos os buracos negros que cravejam nosso universo.

Ao contrário do que muitos podem acreditar, os buracos negros são o oposto dos buracos vazios: eles nasceram quando, devido a algum colapso catastrófico, *muita* matéria acabou sendo comprimida dentro de um volume muito pequeno. Como você tomará conhecimento posteriormente, a morte de uma estrela gigante pode desencadear esse processo.

Portanto, a questão que tanto atormentou quanto excitou muitas mentes brilhantes desde os teoremas de Penrose-Hawking é esta: como as singularidades aparentemente acontecem na natureza, como podemos *conceber* o que acontece dentro delas? Como podemos pensar a respeito de lugares onde o espaço e tempo não fazem mais sentido? Que teoria pode ser utilizada para investigar esses colapsos catastróficos?

Uma teoria que envolve tanto o muito grande quanto o muito pequeno.

Como os buracos negros e a origem de nosso universo consistem em enormes quantidades de matéria e energia confinadas num volume muito pequeno, a resposta deve envolver uma teoria que mistura processos gravitacionais e quânticos.

Independentemente da teoria que possamos encontrar para entender nosso universo que seja melhor que a de Einstein, deve incluir aspectos quânticos da gravidade; isto é, espaço-tempo.

Penrose e Hawking demonstraram que a teoria da gravidade de Einstein possui limites graves, que não é capaz de explicar todo o nosso universo, nem no passado, nem como é agora: ela perde validade antes de podermos alcançar o nascimento do espaço-tempo, e perde a validade antes de conseguirmos

investigar o que se situa no fundo dos atuais buracos negros.

No entanto, podemos pensar que toda a culpa pela dificuldade de achar uma teoria quântica da gravidade deve recair sobre a gravidade, sobre o bebê de Einstein. Mas você viu que esse não é o caso. Também há problemas com a visão quântica do mundo.

Contudo, por mais difícil que possa ser, você agora está prestes a tentar misturar ambos os processos, já que chegou a hora de investigar um buraco negro.

Capítulo 7

Cinza é o novo negro

Considerando a situação, você se sente extraordinariamente normal.

Você não é etéreo, não está transparente, e os braços, as pernas e tudo de seu corpo respondem positivamente quando ordenados a se movimentar. Você é carne, ossos e sangue, e seu coração bate da maneira usual. Uma leve dor no pescoço sela isso: você se sente exatamente como na Terra. No entanto, está no espaço sideral. Seu guia robô, completo, incluindo sua cobertura metálica amarela e seu tubo de lançamento de partículas, está ao seu lado, tão tangível e real quanto você.

Você olha ao redor.

O aeroporto futurista sumiu. Você não reconhece nada, mas supõe que deve estar no interior de uma galáxia, perto de seu centro. Bilhões e bilhões de estrelas estão brilhando como normalmente brilham. Em toda parte. Exceto bem na sua frente, onde uma mancha escura de espaço-tempo está desprovida de estrelas.

À medida que você se move ao lado do robô, dá-se conta de que a área de escuridão está se deslocando em direção às estrelas de fundo.

Está bem próxima.

Um vazio pairando no espaço. Uma ameaça escura agigantando-se sobre todos.

Você sabe o que é.

É imenso, com cerca de 10 bilhões de vezes a massa do Sol. No entanto, esse buraco negro não parece nada com o que você viu no centro da Via Láctea. Não há anel de luzes flamejantes o cercando. Não há nenhuma estrela próxima prestes a cair ali. Esse buraco negro já engoliu e digeriu todas as estrelas que estavam próximas. E também quase todos os detritos. Está limpo agora. Não tem nada para se alimentar, exceto rochas ocasionais desviadas por alguma

falta de sorte distante. Algumas delas estão a caminho agora.

“Se existir um indício de gravidade quântica ali, nós vamos encontrá-lo”, anuncia a máquina.

“Vai ser perigoso?”, pergunta você.

“Claro que sim. É um buraco negro.”

Você olha de novo em direção ao buraco negro, comparando-o com aquele que encontrou no início do livro. Não há jatos de luz irrompendo de seus polos. Há apenas uma mancha negra de vazio meio circular e de aparência plana. Você está descendo em espiral o declive de espaço-tempo criado por ele. À medida que cai, as imagens de estrelas distantes passando perto de sua beira parecem distorcidas. De pontos de luz, tornam-se pequenos barbantes de brilho cobrindo a beira externa do disco escuro. E então elas desaparecem, como se engolidas pelo vazio escuro, antes de reaparecerem no outro lado, onde a sequência de distorção é representada de novo, mas no sentido inverso, até as estrelas parecerem pontos brilhantes distantes mais uma vez.

A luz, parece, é distorcida por esse buraco; um buraco que aparentemente se estende a partir do interior, como um poço escuro, enquanto sua beira age como lente de distorção.

Com o robô ao seu lado, você continua a descer em espiral. Embora ainda esteja meio distante de onde quer que o buraco negro esteja, sente uma sensação de destino fatídico e, subitamente, quer que aquilo que o robô pretende mostrar chegue logo, de modo que você possa escapar antes que seja tarde demais – independentemente do que “tarde demais” queira dizer.

“Olhe por sobre o ombro esquerdo”, afirma o robô, depois de um momento de silêncio.

Você se vira. Uma rocha está se dirigindo direto para o buraco negro. É um asteroide giratório do tamanho de uma montanha. Ele passa com uma velocidade assombrosa a cerca de 100 quilômetros de você.

Você fixa o olhar em sua superfície prateada e escura; o único objeto se movendo em direção ao disco negro do buraco negro.

Enquanto a rocha se afasta, seu tamanho aparente encolhe. Agora, tem aproximadamente a largura de um pêssego à distância de um braço. Pouco depois, fica do tamanho de uma pequena noz distorcida. Então, de repente, quando sua queda em espiral o leva para o outro lado do buraco negro, aparecem duas imagens da rocha. Uma à sua esquerda, e outra à sua direita. A distorção do espaço-tempo ao redor da mancha escura é tanta que a luz parece

ser capaz de pegar diversos caminhos para alcançar seu olho...

“A rocha logo vai cair através”, afirma a máquina, quase com pesar.

“Através do quê?”, pergunta você, ainda mais preocupado. “O que você quer dizer com ‘cair através’? Através do quê?”

“Através do horizonte.”

“Do quê?”

“Do *horizonte do buraco negro*. O limite do não retorno. Você vai ver. Ou não. Nenhum ser humano ou máquina já esteve tão perto de um buraco negro, e muito menos dentro de um. Há uma teoria do que *deve* acontecer lá embaixo. Mas pode estar errada. Cruzando o horizonte, estaremos além do que é conhecido.”

“Então, talvez não devamos chegar tão perto”, sugere você.

“Ou talvez devamos”, responde o robô. “Isso é pesquisa. Teremos de correr alguns riscos.”

“Então, onde devo procurar o horizonte?”

“Em toda parte.”

Movendo seu tubo de lançamento para a direita e para a esquerda, o robô aponta alternadamente para dois lugares opostos, perto da beira do buraco negro, na direção das duas imagens da rocha e no meio.

Com seus olhos se movendo de uma imagem para outra, você espera que as duas continuem sua queda, para desaparecer através do horizonte, para o interior do buraco. No entanto, no momento em que você completou outra órbita inteira, o pequeno asteroide prateado e escuro do tamanho de uma noz ainda está flutuando sobre o vazio escuro. Estranhamente, não parece ter mudado nada desde a última vez que você esteve acima dele. Na realidade, não parece estar mais se movendo nem girando.

“Não caiu!”, grita você, aliviado por talvez não estar condenado a ser destroçado por um buraco negro hoje.

“Caiu”, corrige o robô. “Não está mais ali.”

“Muito engraçado.”

“Sumiu”, insiste o robô. “Só sua imagem permanece. É a distorção do espaço-tempo em ação. Do espaço *e* tempo. Nosso tempo, o seu e o meu, não está tiquetaqueando como o da rocha. O asteroide está além do horizonte. Sua imagem ainda está no horizonte. É como é.”

Enquanto você capta isso, outro objeto passa rapidamente por você, na direção do vazio: dessa vez, uma pedra brilhante. Parece quase um diamante enorme; e, de fato, é exatamente isso, pois algumas estrelas, quando morrem,

podem deixar para trás diamantes do tamanho da Lua.

Enquanto observa a queda da pedra, você completa outro giro ao redor do buraco negro. Percebe que está muito mais perto dele do que estava antes, e se movendo muito mais rápido. Giro após giro, diversas imagens do asteroide, com as do diamante agora perto delas, todas aparentemente congeladas acima de uma escuridão surreal, ficam cada vez mais distorcidas. Assim como o restante do que você consegue ver.

Independentemente do que seus olhos possam estar lhe dizendo, o robô tem razão de novo: o asteroide e o diamante estão totalmente além da recuperação. E o tamanho do buraco negro cresceu quando os engoliu. Ou no mínimo seu horizonte cresceu.

“É isso o que quis que eu visse?”, você pergunta ao robô. “Que um buraco vazio cresce quando engole matéria?”

“Os buracos negros não são vazios”, responde o robô, de forma ameaçadora.

Na realidade, os buracos negros são exatamente o oposto do vazio: são o que acontece quando há *muita* matéria e energia num espaço muito pequeno. Para criar um buraco negro, é necessária uma enorme energia. Pelo que sabemos, só a mais imensa das estrelas brilhantes libera energia suficiente, em sua morte, para comprimir seu centro num buraco negro.

Você cruzou com anãs brancas mais cedo em sua jornada, e esses astros são os resultados de compressões semelhantes; mas não são tão extremas quanto os buracos negros. Todos os tipos de resíduos de colapsos estelares são impressionantes, mas os buracos negros estão além de todos. E, enquanto estamos nele, enquanto você desce em espiral algumas vezes mais ao redor do buraco negro, na direção à qual está caindo inexoravelmente, deixe-me lhe dar outro motivo de por que eles são tão assustadores e misteriosos.

Se se sentasse em qualquer objeto do universo, seja uma rocha, um planeta ou uma estrela, você seria capaz de enviar alguma luz para sinalizar sua posição. No entanto, quanto mais denso fosse o objeto no qual você está sentado, mais energético seu sinal precisaria ser para escalar o declive criado pelo objeto no espaço-tempo ao redor dele. É exatamente como em relação à tigela de salada: quanto mais funda ela é, mais rápido você precisa jogar a bola de gude para ela rolar para cima e escapar. Sentado em um planeta, uma estrela ou uma anã branca, você precisa, sucessivamente, cada vez mais energia para sinalizar sua posição e escapar da atração do objeto e alcançar o espaço sideral sem cair de volta.

Os buracos negros são ainda piores. Eles contêm muita matéria e energia, e, portanto, criam um declive de espaço-tempo muito íngreme, que qualquer coisa desajeitada o suficiente para se aproximar muito deles está condenada a cair nele. De acordo com a relatividade geral, nada, em nosso universo, tem poder suficiente para escapar do domínio gravitacional do buraco negro. Nem mesmo a luz. O ponto de não retorno, além do qual nada consegue sair – o *horizonte* do buraco negro –, se situa onde as imagens da rocha e do diamante parecem estar congeladas, quando observadas de um lugar externo.

A escuridão continua aumentando na sua frente, como se uma boca imensa estivesse pronta para engolir sua realidade.

As estrelas distantes, em toda parte, agora parecem muito diferentes. Você até tem a sensação confusa de que o está vendo na sua frente, na realidade, está atrás... Virando a cabeça, você percebe que não é só uma sensação, é realmente o caso. A luz emitida pelas estrelas que brilham atrás de você, viajando tão rápido quanto a luz sempre viaja, ultrapassa-o e percorre o declive criado pelo buraco negro. Os raios que se propagam para a esquerda do monstro reaparecem à sua direita após terem feito uma curva de 180 graus, estilo montanha-russa, por trás. E então essas luzes se movem em sua direção e atingem seus olhos. Olhando para a frente, você também está vendo atrás de você...

De fato, de onde está, consegue enxergar o universo inteiro apenas olhando para frente.

E conforme continua descendo em espiral, as coisas ficam ainda mais confusas.

Agora, as imagens da rocha e do diamante estão se movendo de novo: à medida que você chega mais perto deles, seu tempo e o deles ficam cada vez mais próximos, e, de repente, a rocha e o diamante desaparecem por completo.

Você acabou de vê-los cruzar o horizonte; algo que provavelmente fizeram há horas, de acordo com o relógio próprio deles.

Perto de você, o robô se virou, com o tubo de lançamento apontando para o espaço sideral.

Lentamente, você também se vira, temendo o que talvez encontre.

E o que você vê está além da imaginação.

Todas as estrelas, em toda parte, que, um segundo atrás, pareciam estar imóveis, agora estão se movendo. A ausência de imobilidade delas, normalmente imperceptível mesmo ao longo do espaço de tempo de uma vida

humana, é agora evidente para você. Desde as mais próximas até as mais distantes, todas se movem através do espaço e tempo. Algumas delas estão tão velozes que até deixam um rastro em sua retina, desenhando curvas evanescentes de luz por meio de sua imagem do universo. Da mesma forma que, quando você estava viajando cada vez mais perto da velocidade da luz anteriormente, deslocando-se pelo universo, observou as vidas de uma astronauta, de seus filhos e de seus netos passarem rápido, com o tempo deles acelerado em comparação com o seu. Daquela vez, seu tempo e o tempo deles eram diferentes por causa de sua velocidade. Dessa vez, perto do buraco negro, seu tempo passa mais devagar que em todos os outros lugares. Você está observando o futuro do universo conforme ele se expande, e isso é, de novo, o que quer dizer, na prática, espaço e tempo sendo unidos no espaço-tempo.

“Nós cruzamos o horizonte?”, pergunta você, preocupado. “Estamos condenados a cair para sempre?”

O robô volta a se virar, para encará-lo, e você se dá conta, com grande surpresa, de que o tubo de lançamento dele se alargou. De fato, parece não mais feito para lançar partículas, mas sim bolas de boliche...

“Nós ainda não cruzamos o horizonte”, responde ele. “Mas você está a ponto de cruzar.”

Se você não soubesse das coisas, diria que detectou um sinal de prazer na voz do robô. No entanto, antes de você poder reagir, o robô dispara uma bola pesada direto em seu peito. Incapaz de evitá-la, você não tem escolha, exceto agarrar o projétil. Instantaneamente, sua velocidade o empurra para baixo, em direção à escuridão escancarada...

Você grita, tenta freneticamente se agarrar a algo para deter sua queda, mas não há nada próximo para se segurar.

Você cai. O robô está se afastando.

Um segundo seu já corresponde a um minuto dele.

E agora uma hora.

E agora um dia.

E agora um ano.

Enquanto o robô desaparece à distância, milhões de anos passam diante de você. Estrelas explodem. Novas estrelas nascem. E você vê tudo isso.

Bilhões de anos lá fora agora se foram. Outra galáxia se funde com a que você está.

O robô não está em nenhum lugar. Você está sozinho.
E você entra em pânico.

Você cruzou o horizonte do buraco negro. Emudecido pelo choque, observa o futuro de tudo. Preso ao medo, incapaz de se concentrar, cai com os pés projetados, com os olhos fixos erguidos, observando a vida de todo o universo se desdobrar, enquanto desaparece num abismo do nada desconhecido, no fundo do qual se situa uma singularidade.

E agora você se vira para encará-la, no cerne misterioso do buraco negro, onde o oposto do nada, a própria matéria que cria todo esse contrassenso, deve em algum lugar criar esse absurdo.

Para sua grande surpresa, você não vê nada. Nem mesmo seu corpo. Seus pés. Seu nariz. Nem mesmo sua própria mão.

A luz pode cair em você de cima, de fora, mas nada se eleva de lá de baixo, de qualquer direção, por mais perto que esteja. A luz não tem energia suficiente para fazer isso. Você cruzou o horizonte do buraco negro e, agora, está condenado a despencar para sempre na direção da superfície de inúmeros centros de estrelas colapsadas, reunidas numa queda em implosão interminável, até esticarem muito o espaço-tempo em relação à relatividade geral de Einstein, com consequências desconhecidas.

De fato, se realmente estivesse ali, você estaria morto, pois, se nem mesmo a luz consegue realizar a diminuta jornada de seus pés até seus olhos, de nenhuma maneira seu sangue conseguiria escalar o declive de espaço-tempo pelo qual está deslizando, para alcançar seu cérebro.

No entanto, como ainda temos muita coisa para ver, vamos supor que você ainda esteja vivo.

Relutante de encarar essa escuridão insondável, você decide se virar de novo, para observar o universo, com suas imagens fluindo para baixo, em sua direção, através do horizonte agora distante. Mas não consegue. Qualquer movimento que envolve ter parte de seu corpo movendo-se para cima, na direção do “acima”, do exterior, é proibido. Exige uma energia que nem a luz possui.

Nenhum movimento ascendente é permitido.

Quando você começa a se perguntar se algo pode ser pior do que isso, forças periódicas começam a fazer seu corpo doer. O efeito gravitacional da presença invisível do buraco negro está agora começando a arrastar seus pés para baixo

mais do que seus braços e sua cabeça. A gravidade do buraco negro está esticando seu corpo. Você vai acabar esticado como um espaguete.

Mesmo se o robô traiçoeiro o tivesse equipado com o mais potente propulsor de foguete já inventado, não teria mudado nada.

Independentemente do motor, se você tentasse se mover para cima de dentro de um horizonte de buraco negro, seria como se gastasse energia sobre um tecido de espaço-tempo escorregadio, esticado, como se exercitar numa esteira interminável, com uma velocidade sempre muito maior que a sua, arrastando-o de volta.

De acordo com Penrose e Hawking, você está sendo puxado pela singularidade do espaço-tempo que se situa lá embaixo, em algum lugar; uma singularidade que jamais será vista do espaço sideral. Sem luz com poder para escapar do horizonte, a singularidade é escondida por ele. Lá embaixo, as próprias noções de espaço e tempo perdem validade, exatamente como em algum tempo antes do Big Bang. Ninguém jamais poderia examinar o cerne de uma singularidade e emergir para contar a história. Esses lugares, ao que parece, devem permanecer encobertos para sempre.

De acordo com a relatividade geral, nem você nem qualquer átomo pertencente a você sairão de lá.

Um pensamento triste, sobretudo agora que está completamente destroçado, reduzido a um longo filamento feito de todas as partículas que constituíam seu corpo.

Um pensamento triste, sim, mas a relatividade geral não é confiável lá embaixo, pois devemos lembrar que a mesma não é uma teoria quântica de campos.

E, no momento em que esse pensamento lhe ocorre, a esperança imediatamente retorna à sua mente, e você se transforma em seu estado de minivocê.

E você espera.

Inicialmente, nada acontece.

E então, surpreendentemente, você vê todas as partículas elementares das quais era feito desaparecerem.

Ou saltarem, para ser mais exato.

Salto quântico, de fato.

E agora elas estão fora.

Fora do buraco negro, onde, felizmente, elas se reagrupam num minivocê.

E o robô está ali para encontrá-lo.

Nesse momento, você está tentado a investir contra o robô e quebrar seu tubo metálico, pelo fato de ele o ter arremessado através do horizonte do buraco negro. No entanto, antes de poder agir, a voz metálica dele anuncia:

“Fiquei esperando você por cerca de 10 bilhões de anos. Fico feliz que você me reconhece.”

De repente, você não tem ânimo para machucá-lo. E, além disso, há coisas mais importantes para pensar. Especialmente o fato de que aquilo que você acabou de experimentar é um caso de campos gravitacional e quântico interagindo.

Em todos os lugares, as estrelas estão voltando a se mover de modo lento e imperceptível. Realmente, 10 bilhões de anos se passaram desde que você cruzou o horizonte do buraco negro (desculpe, foi empurrado através dele). Você observa a mancha negra do espaço da qual escapou milagrosamente. À primeira vista, não parece ter mudado muito; mas agora que você sabe o que procurar, é como se ainda outro véu tivesse sido removido, e realmente vê. Partículas estão escapando do buraco negro, afastando-se dele, irradiando, como se o monstro escuro estivesse evaporando.

Quem sabe isso tenha acontecido o tempo todo, você se dá conta, mas simplesmente não tinha percebido. Mas como isso pode acontecer?

Como Richard Feynman disse certa vez, alguém só entende realmente um fenômeno quando pode dar muitas razões diferentes para o mesmo acontecer.

Assim, enquanto você e o robô observam as partículas escaparem para o espaço, darei a você quatro motivos pelos quais os buracos negros estão vazando partículas. Eles estão todos ligados a um processo com que já se deparou.

O primeiro é o mais simples.

As partículas quânticas podem se apropriar da energia de seu campo, como você sabe. E também podem fazer isso quando estão dentro do horizonte do buraco negro. Com essa energia apropriada, elas podem se mover mais rápido que a luz por um curto período de tempo. Não muito longo, mas longo o bastante para um salto quântico para fora da zona de não retorno do buraco negro. Isso foi o que você fez como seu minivocê. É um processo quântico.

Essencialmente, todas as maneiras de entender o que aconteceu com você são quânticas. Assim, todas vêm com a habitual advertência, pois, como muita coisa que você tem visto no mundo quântico, elas podem parecer absurdas.

O segundo motivo não é exceção: você pode dizer que todas as partículas

que caem através do horizonte do buraco negro também não caem. Caem e não caem. Entre todos os possíveis caminhos que uma partícula (entendida como uma onda) pode pegar para cair, a maioria deles são um erro, pois há mais espaço fora do buraco negro do que nele. Surpreendentemente, essa ideia, elaborada com atenção, faz o buraco negro evaporar exatamente da mesma maneira do primeiro motivo acima.

Um terceiro motivo é o seguinte: devido ao horizonte que separa um do outro, o vácuo dentro do horizonte do buraco negro é diferente do vácuo de fora, de modo que alguma forma de força de vácuo, um efeito Casimir, deve empurrar o horizonte para dentro, fazendo o buraco negro encolher e evaporar. Isso novamente, de modo um tanto milagroso, fornece o mesmo resultado como acima.

O quarto e último motivo que darei aqui é que a criação do par partícula-antipartícula ocorre perto de todos os horizontes dos buracos negros, com as antipartículas caindo com mais frequência do que as partículas, da mesma forma que com mais frequência há mais partículas do que antipartículas ao redor de nós. Tendo cruzado o horizonte, a antipartícula é então obrigada a acabar aniquilando a partícula ali, fazendo ambas desaparecerem, enquanto somente uma partícula resta do lado de fora: a partícula que foi criada com a antipartícula; a gêmea da partícula que foi aniquilada dentro. Novamente, isso dá o mesmo resultado.

São todos os efeitos quânticos que você testemunhou antes, mas, nesse caso, são aplicados nas proximidades de um buraco negro. E todos levam à mesma conclusão: os buracos negros evaporam. Vazam matéria.

Portanto, quando agora observa o buraco negro brilhar, você se dá conta que esse monstro cósmico, que engoliu estrelas inteiras de eras, não é mais negro, mas cinza. E está encolhendo.

Ainda mais surpreendente é o fato de que, quanto mais partículas ele dispara para fora, mais quente ele parece ficar; e, quanto mais quente ele fica, mais partículas dispara para fora. Um círculo vicioso que deve levar inexoravelmente à sua morte.

A morte de um buraco negro.

Por mais inacreditável que possa parecer, o buraco negro que você observa está encolhendo e emitindo alguma radiação. O espaço-tempo de energia armazenado dentro dele por meio da absorção de mundos inteiros está agora sendo devolvido para o espaço sideral, uma partícula por vez, como se, à semelhança do decaimento radioativo, os buracos negros estivessem

disponíveis para decompor coisas, para dar uma segunda chance às partículas...

Todos os campos quânticos da natureza, excitados por aquilo que é nada menos que o objeto gravitacional mais poderoso conhecido do universo, estão agora usando essa bonança inesperada para se encherem de energia. Conforme o buraco negro fica cada vez mais quente, suas partículas fundamentais – partículas que tinham até agora ficado adormecidas – acordam e se lançam para fora. Você vê isso acontecendo. E, quanto menor o buraco negro fica, maior a excitação do campo, mais energéticas as partículas se lançam para fora. De novo, a energia gravitacional é transformada em matéria e luz.

Quando tudo isso se desdobra diante de seus próprios olhos, você se dá conta de que isso é muito contrário aos princípios terrestres: uma caneca de água quente, na Terra, não esquenta enquanto evapora. Geralmente, esfria. Se não fosse assim, esquecer um café quente na mesa provocaria um desastre. O noticiário noturno estaria cheio de histórias como esta: “Outra xícara de café incendeia uma mesa, colocando fogo no prédio inteiro. Lembre-se sempre de jogar fora suas bebidas quentes no lixo apropriado.”

Os buracos negros são aparentemente diferentes das xícaras de café. Quanto mais evaporam, mais encolhem e mais quente ficam. Ninguém sabe o que acontece no fim desse processo. Os buracos negros desaparecem com um estrondo final? Um remanescente estranho, minúsculo, com propriedades peculiares, fica para trás? Para encontrar uma resposta, precisaríamos saber que leis regem a singularidade que se esconde bem fundo dentro dele. Desde 1975, os cientistas têm procurado essas leis.

*

Foi naquele ano que Stephen Hawking descobriu, teoricamente, que os buracos negros evaporam.

Inicialmente, ele não acreditou em seus cálculos. A luz pareceu estar saindo de um lugar onde nenhuma luz devia brilhar. Assim, ele refez os cálculos. E de novo. Só para constatar que a luz e as partículas conseguiam realmente encontrar seu caminho para fora dos buracos negros. Ele publicou sua descoberta na revista *Nature*, e, num instante, tornou-se famoso em todo o mundo, além dos círculos científicos. Os efeitos quânticos faziam o buraco negro evaporar. O que caísse nele não estaria condenado ali para sempre. Sai, mas não de uma maneira reconhecível. Sendo capazes de evaporar, os buracos negros, portanto, comportam-se como se tivessem uma determinada temperatura, uma temperatura que hoje é conhecida como *temperatura de*

Hawking.

Quando observa o buraco negro emanar o brilho do fim de sua energia, você percebe que aquilo que está vendo lhe diz que o muito grande e o muito pequeno conversam entre si, como naturalmente deveriam. A radiação do buraco negro é a única prova até agora que nossas teorias podem refletir a natureza a esse respeito. É o indício que diz que uma teoria de gravidade quântica pode ser possível. Qualquer candidata séria a tal status terá de prever a temperatura de Hawking e a evaporação do buraco negro – durante todo o tempo da morte do buraco negro.

“Os buracos negros podem morrer”, afirma você, em voz alta, descrente.

“Como tudo nesse universo”, diz o robô.

No entanto, perto do fim da década de 1970, a descoberta de Hawking também levou a uma afirmação muito estranha e meio preocupante. Com sua fórmula da temperatura à mão, ele tentou extrair e decifrar, a partir da radiação que tinha descoberto, alguma informação a respeito que forma um buraco negro. Para facilitar as coisas, ele começou com um buraco negro já plenamente formado e lançou para dentro diferentes materiais, para ver como eles seriam afetados pela radiação subsequente. Surpreendentemente, não houve diferença. Nada dentro da radiação emitida lhe disse algo a respeito do que ele tinha enviado para dentro, exceto suas massas. Deu a impressão, a partir do que ele foi capaz de dizer, de que os buracos negros pura e simplesmente descoloriram todas as características do que tinham engolido. Exceto a massa. Se alguns seres humanos, livros, uma rocha ou um diamante caíssem através do horizonte do buraco negro e se, por acaso, tivessem a mesma massa inicial, posteriormente seriam evaporados exatamente da mesma maneira. Para os buracos negros, pareceu para Hawking, seres humanos, livros e pedras tinham o mesmo gosto. Para todos nós, isso significa que, no que diz respeito aos buracos negros, somente nossa massa possui algum significado, o que pode impressionar alguns como sendo um pouco redutivo. Para os cientistas, porém, isso foi uma catástrofe filosófica.

Até o estudo de Hawking, supunha-se que os buracos negros devoravam tudo o que cruzava seu horizonte, e cresciam, e isso não era um problema. Qualquer coisa que cai ali não se perde. Está simplesmente armazenada atrás de um horizonte, sendo difícil (impossível, na realidade, mas não importa) recuperar de fora.

Com os buracos negros evaporando informação descolorida, somos

confrontados por uma compreensão preocupante: as coisas começam a se esvaír da realidade. Com a *radiação de Hawking* sendo independente do que cai nos buracos negros, esses monstros escuros tornam-se blecautes de memória de nosso universo. E, uma vez que os buracos negros evaporaram seu passado, o que armazenaram não é simplesmente difícil ou impossível de acessar, mas não está mais em nenhum lugar. Foi-se. A ciência estava procurando a teoria de Tudo, uma teoria para explicar isso tudo numa única fórmula, e o primeiro resultado alcançado por meio dessa tentativa desferiu um golpe significativo na ciência como um todo. A ciência, para sempre incapaz de explicar esses passados perdidos que ocorreram nos buracos negros, foi ordenada a desistir da esperança de algum dia descrever e entender a história inteira de nosso universo. A radiação de Hawking não foi um dobrar dos sinos do fim da física quântica ou da relatividade geral, mas sim do fim da física como meio de aprendizado de onde nosso universo vem. Esse problema foi batizado de *paradoxo da informação do buraco negro*.

Atualmente, os físicos estão mais familiarizados com as aproximações brutas que Hawking utilizou para alcançar seu resultado. No entanto, quarenta anos depois de sua descoberta, quando Hawking me convidou para trabalhar nisso com ele, o problema permanecia coberto de mistério. Agora há novos indícios de que uma saída pode ter sido encontrada, pois, se aplicarmos o que é conhecido a respeito do mundo quântico aos buracos negros, então os buracos negros poderão estar ali, e não estar ali... Aonde essas ideias levaram os cientistas é o que você descobrirá na próxima e última parte deste livro.

Por enquanto, porém, de alguns desconhecidos bilhões de anos no futuro, você, de repente, lembra-se da alegria suspeita do robô ao vê-lo reaparecer fora do buraco negro. Na ocasião, não quis saber por que ele ficou tão contente de que o reconheceu?

Achou que era autêntico, não? Mas provavelmente não era, e agora sabe o motivo: o robô não tinha certeza se você se lembrava de alguma coisa. Ele não sabia se o buraco negro descoloriu seu corpo e sua mente de toda a informação que continham. Então, você o reconheceu, quis quebrá-lo em pedaços por tê-lo empurrado, e ele soube...

Soube que se lembrava de tudo, que a informação não estava perdida em seu caso, ainda que não tivesse a mais leve lembrança de voar para trás através do horizonte do buraco negro.

Você se lembra de ter virado um conjunto de partículas fundamentais. E, depois, estar fora.

No meio, ocorreu um salto quântico, ou outra coisa.

Descobrir como exatamente isso pode ter acontecido é o que uma teoria de gravidade quântica decente deve alcançar. E, como isso é o que você logo começará a investigar, deixe-me ratificar o fato de que, desde o início desta parte do livro, ingressei num mundo muito teórico. Matéria escura nunca foi criada em laboratório, nem energia escura, e o mesmo acontece em relação aos buracos negros: sua evaporação ainda não foi detectada por nenhum experimento, direta ou indiretamente. Caso contrário, Hawking teria recebido o Prêmio Nobel.

A evaporação do buraco negro, por exemplo, é muito difícil de detectar.

Quão difícil?

Vejamos.

Consideremos o Sol.

Para torná-lo um buraco negro, você precisaria comprimi-lo numa esfera de 6 quilômetros de diâmetro. Isso equivale a cerca de dois terços o diâmetro de Londres.⁵⁶ A maioria dos buracos negros, em todo o universo, nasce quando estrelas gigantes morrem; assim, elas devem ser maiores que isso (o Sol não é uma estrela gigante). Agora, suponhamos que um desses buracos negros de “massa solar” engoliu tudo que o cerca e, nesse momento, subsiste tranquilamente em algum lugar, distante de tudo. Sua temperatura de radiação, sua temperatura de Hawking, deve ser de cerca de um décimo de milionésimo de um grau acima do zero absoluto (e o zero absoluto equivale a cerca de $-273,15^{\circ}\text{C}$).

Um décimo de milionésimo de um grau não é muito. É difícil de medir por si mesmo. Mas esse não é o principal problema.

O principal problema é que é muito menos que os $2,7^{\circ}\text{C}$ da radiação cósmica de fundo em micro-ondas que banha tudo em nosso universo visível. Em consequência, os buracos negros de massa solar não são vistos em evaporação agora. De fato, até hoje, eles nunca foram visto fazendo isso. São e sempre foram mascarados e se alimentam do calor restante de fundo da era do Big Bang.

E partindo do pressuposto de que, quanto mais pesado o buraco negro, menor sua temperatura, fica pior para os grandes monstros supermassivos que se situam no centro da maioria das galáxias de nosso universo. Suas temperaturas de Hawking são ainda mais frias que as dos buracos negros de massa solar, sem falar que são cercados por anéis extremamente quentes de matéria em queda.

Portanto, o que daria um Prêmio Nobel a Hawking talvez se situasse no

mundo do muito pequeno, pois os buracos negros minúsculos devem ser muito quentes.

Infelizmente, ainda temos um problema: os cientistas têm bastante certeza de que localizaram buracos negros gigantescos, mas nunca viram algum minúsculo. Não importa. Suponhamos que estão ali. Podemos fazer algo a partir deles, na prática?

*

Para descobrir isso, deixe-me abrir um pequeno parêntese, que lançará alguma luz sobre o que chamei anteriormente de muro de Planck.

No início do século XX, um dos cientistas mais impressionantes de todos os tempos criou o que hoje denominamos física quântica. Ele era alemão, como Einstein, e seu nome era Max Planck. Em 1918, ele recebeu o Prêmio Nobel de Física.

A partir de suas descobertas, Planck entendeu que havia uma escala além da qual os efeitos quânticos não podiam ser negligenciados. Considere um objeto grande, e tudo está muito bom. O entendimento de Newton a respeito da natureza pode ser aplicado a isso, e o que quer que seja esperado disso corresponde à realidade a que estamos acostumados em nossas rotinas. Mas encolha esse objeto para tamanhos cada vez menores, e a visão de Newton começa a se desintegrar. Newton, deixe-me repetir, descobriu uma maneira de descrever o mundo numa escala em que estamos familiarizados no dia a dia. Está de acordo com nosso senso comum. Para o mundo do muito grande e energético, a visão de Einstein tem de assumir o comando. Para o muito pequeno, é a de Planck. Ali, devemos considerar o mundo quântico. E há uma constante da natureza que nos permite avaliar quando isso acontece. Denomina-se *constante de Planck*.

A constante de Planck está em pé de igualdade com duas outras constantes universais da natureza. A saber, a velocidade da luz e a constante gravitacional, que nos revela como duas massas se atraem.

Certo dia, Planck começou a se divertir com essas constantes, e construiu três coisas a partir delas. Uma foi uma massa. Outra foi um comprimento. E ainda outra foi uma unidade de tempo.

A massa acabou se revelando de 21 microgramas. Vinte e um milionésimos de um grama. Denomina-se *massa de Planck*.

O comprimento era um milésimo de um milionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um metro. Denomina-se *comprimento de*

Planck.

O tempo era um milionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um segundo. Denomina-se *tempo de Planck*.

Eles correspondem a quê?

Correspondem a escalas além das quais nem a gravidade, nem a física quântica podem ser utilizadas de maneira independente uma da outra. São os limites além dos quais a gravidade quântica é necessária para explicar o que está acontecendo, embora alguns efeitos da gravidade quânticas possam aparecer antes dessas escalas serem alcançadas.

O que isso significa na prática?

Bem, significa que as escalas de Planck dão o tamanho do menor buraco negro que pode existir.

Assim, o menor buraco negro que a ciência atual consegue imaginar pesa cerca de 21 microgramas. Curiosamente, é um peso que nossas mentes conseguem captar. Não parece tão impressionante. No entanto, é enorme quando comprimido no menor volume de espaço-tempo que existe: uma esfera com um diâmetro equivalente ao comprimento de Planck. Esse buraco negro evaporaria em... Um milionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um segundo. Ou seja, o tempo de Planck.

Supondo que consigamos mensurar essas coisas minúsculas acontecendo tão rápido, precisaríamos criar um buraco negro com a massa de Planck para estudar isso. No entanto, com nossa tecnologia atual, um acelerador de partícula bastante potente para criar esse buraco negro mediante a colisão de partículas em alta velocidade teria de ser do tamanho de nossa galáxia. Obviamente, isso está muito além de nossas capacidades e duvido que alguém esteja disposto a começar a construir tal dispositivo (exceto Hawking, por motivos óbvios). Porém, o consolo pode vir do espaço sideral, onde esses minúsculos buracos negros talvez sejam detectados quando descarregam o fim de suas energias. Mas, a menos que algum fenômeno até agora desconhecido ocorra e nos revele para onde olhar e o que procurar, seríamos muito sortudos de localizar um diretamente.

Contudo, ninguém duvida da existência da radiação de Hawking. E isso significa que uma nova realidade avulta lá embaixo, em algum lugar: uma realidade quântica, que contém espaço e tempo em si mesma.

E é a partir disso, como você verá agora, que o quadro mais extraordinário de nosso universo emergiu nas mentes de alguns dos mais brilhantes cientistas vivos da atualidade.

56 No caso de querer saber, para transformar não o Sol, mas sim o nosso planeta, num buraco negro, você teria de comprimir todos os seus conteúdos (inclusive você) ao tamanho de um tomate-cereja.

PARTE VII

Um passo além do que é conhecido

Capítulo 1

De volta ao princípio

Como testemunhou por si mesmo, o universo *visível* não é infinito, e a Terra está, você está, no centro dele. Esse é um fato prático, com o ponto-chave sendo a palavra “visível”: a luz que o alcança de qualquer direção traz notícias de um passado tão distante quanto de qualquer outra direção, fazendo seus arredores cósmicos parecerem esféricos. Porém, não significa que o universo inteiro é esférico; significa, sim, que a parcela dele que você é capaz de *ver* é. A luz mais antiga que o alcança hoje deixou a superfície de última difusão, o muro no fim do universo *visível*, há cerca de 13,8 bilhões de anos, quando o universo tinha se esfriado o suficiente para se tornar transparente. Na ocasião dessa última difusão, supõe-se que o universo tinha cerca de 380 mil anos e uma temperatura de 3000°C. Depois disso, ele se expandiu e esfriou. Antes disso, era menor e mais quente.

Assim, o universo visível é uma esfera centrada na Terra; uma esfera constituída de todos os passados que nos alcançam hoje em dia. A beira externa dessa cebola com camadas de épocas cósmicas, a beira de nossos passados observáveis, também é a primeira parte visível dele; o momento da história de nosso universo em que a luz ficou livre para se deslocar desembaraçada da matéria. Você esteve ali. Você viu isso. Você até cruzou isso. No entanto, há algo peculiar acerca disso. Algo muito, muito peculiar que você talvez não tenha reparado naquele momento.

Você se lembra de que seus amigos subvencionados com telescópios de um bilhão de dólares descobriram, ao observarem o céu noturno, que a radiação que preenche nosso universo é quase a mesma independentemente da parte do céu noturno longínquo em que ela se origina? Essa radiação, a radiação cósmica de fundo em micro-ondas, proclamou o triunfo da teoria do Big Bang. Foi a evidência incontestável necessária para provar que nosso universo tinha

sido menor no passado e muitíssimo mais quente. No entanto, nem seus amigos nem você prestaram atenção ao fato de que essa radiação era muito uniforme para se ajustar ao que é esperado em relação à expansão de nosso universo. Como você verá agora, essa extraordinária uniformidade é um dos motivos pelos quais os cientistas introduziram a ideia de uma época de inflação cosmológica que ocorreu antes do Big Bang, e o desencadeou 380 mil anos antes do universo ficar transparente.

E, como também verá agora, isso prepara o terreno para a possibilidade de não um Big Bang, mas de uma infinidade deles.

Peça a cada pessoa de sua vizinhança que apague as luzes à noite, e se sente numa espreguiçadeira para contemplar o céu. Ainda que seja muito débil para você ficar ciente disso, seus olhos estão recebendo luz do espaço longínquo, da radiação cósmica de fundo em micro-ondas. Observando por bastante tempo, com o equipamento adequado, você mapeia a radiação, e acaba com um quadro bastante uniforme, revelando uma temperatura de $-270,42^{\circ}\text{C}$ em toda parte, $2,73^{\circ}\text{C}$ acima do zero absoluto. Agora, leve sua espreguiçadeira com você e viaje para o ponto diametralmente oposto da Terra. Denomina-se *antípoda*. Se começou em algum lugar do Reino Unido, você agora está no meio do Pacífico. Nenhuma luz por perto. Você está sobre uma jangada, sentado em sua espreguiçadeira, contemplando o céu de novo, colhendo a luz emitida, depois que a mesma viajou ao longo do universo durante 13,8 bilhões de anos.

Menos $270,42^{\circ}\text{C}$, de novo.

Exatamente a mesma temperatura. A radiação cósmica de fundo em micro-ondas.

No entanto, não há absolutamente nenhum motivo para ela ser a mesma em todos os lugares. De fato, essa possibilidade devia ser excluída...

A radiação cósmica de fundo em micro-ondas que o alcançou no Reino Unido começou de um lado do universo visível. A radiação que o alcançou no Pacífico veio da direção diametralmente oposta. As fontes dessa luz são tão remotas uma da outra (duas vezes 13,8 bilhões de anos-luz de distância) que, a menos que algo estranho acontecesse em certo estágio, não há nenhuma maneira, ao longo da história passada de nosso universo, de elas terem estado em contato alguma vez.

Assim, elas não deveriam ter a mesma temperatura.

Para entender quão estranho é o fato de isso acontecer, pegue uma caneca de café quente e traga para sua sala de estar.

Inicialmente, a menos que você more num forno, sua sala de estar deve estar mais fria que o seu café, mas, se esperar algum tempo, o café e a sala acabarão tendo a mesma temperatura. Ou seja, uma temperatura de equilíbrio. Como já percebeu muitas vezes ao longo deste livro, o café sempre acaba ficando muito frio para ter gosto bom.

Agora, pegue sua caneca e a coloque em sua geladeira, com a porta fechada. Uma nova temperatura de equilíbrio será alcançada depois de um tempo. Uma ainda mais fria.

Viaje para algum deserto quente com sua bebida e ainda outra temperatura de equilíbrio será alcançada. Mais quente, dessa vez.

Tudo isso deve parecer muito normal. Nada estranho.

Agora, encha outra caneca com café quente e a recoloque em sua sala de estar. Seria muito improvável que ela acabasse tendo a mesma temperatura como dentro de uma geladeira no Japão.

Dois objetos ou lugares que não estão e nunca estiveram em contato, objetos ou lugares que nem mesmo sabem a respeito da existência do outro, não têm motivo para acabar tendo a mesma temperatura. Isso parece uma suposição justa, não? Tão justa que também deveria se aplicar ao espaço sideral.

Para duas partes opostas, antípodas, do céu noturno terem alcançado, depois de 13,8 bilhões de anos de existência distinta, exatamente a mesma temperatura de $-270,42^{\circ}\text{C}$, elas *devem* ter estado em contato, de algum modo, em certo estágio do passado. Mas isso não é possível: considerando a idade do universo e seu ritmo de expansão, elas estão muito afastadas para alguma vez terem estado em contato. Exceto se algum fenômeno muitíssimo estranho tenha ocorrido.

Algo, por exemplo, teria tido de viajar mais rápido que a luz.

Infelizmente, para um sinal (significando qualquer coisa que consegue transportar alguma informação, independentemente de sua forma, de um lugar para outro), isso é impossível. Nesse caso, não estamos falando de processos quânticos; assim, os sinais, independentemente do que são, não podem viajar mais rápido que a luz. Realmente, isso é proibido.

No entanto, a radiação cósmica de fundo em micro-ondas é o que é: semelhante demais em toda parte para ser coincidência. Como isso é possível?

Pode ser que o espaço-tempo – ou seja, o universo em si – tenha se desenvolvido mais rápido que a luz, em algum estágio do passado.

E isso é o que você viu quando viajou para trás no tempo, além do Big Bang, quando ingressou na assim chama *era da inflação*, onde o universo estava

preenchido com um campo inflaton.

Em sua forma moderna, a ideia de um universo inicial inflacionário foi sugerida inicialmente na década de 1980 por Alan Guth, físico teórico norte-americano, Alexei Starobinsky, cosmólogo russo, e Andrei Linde, físico teórico russo-norte-americano. A ideia básica é que, há muito tempo, mesmo antes da existência da matéria, da luz e de qualquer coisa que conhecemos, além do universo visível, além do Big Bang, havia um campo preenchendo o universo com uma força antigravidade repulsiva. Esse campo era tão extraordinariamente poderoso que desencadeou um período de extrema expansão, uma expansão que espalhou distintas partes do universo inicial numa velocidade muitíssimo mais rápida que a velocidade da luz, permitindo que lugares que atualmente parecem muito afastados tenham alguma vez estado em contato, tenham realmente estado em contato no passado.⁵⁷

Eis por que se introduziu a ideia de um campo inflaton.

Mas é real? Podemos, assim como em relação a todos os outros campos quânticos, detectar alguma de suas partículas fundamentais?

Se fosse real, a maioria de suas partículas deveria ter desaparecido há muito tempo (desencadeando o Big Bang quente), mas não devem ter sumido por completo. De algum modo, o campo inflaton ainda deve existir, preenchendo o universo inteiro, subsistindo em uma de suas formas menos energéticas, um vácuo que, por falta de suficiente energia, raramente fica excitado o bastante para produzir e nos mostrar suas partículas.

Os inflatons, como suas partículas são chamadas, não foram detectados (ainda). No entanto, muitos cientistas estão convencidos de que algum tipo de cenário inflaton, com seu campo inflaton, deve ser bastante próximo do que realmente aconteceu, e, como eu gosto muito da ideia, vamos considerá-la seriamente e ver com que a história de um universo contendo esse campo deveria se parecer.

O campo inflaton primeiro fez um trabalho muito bom separando distintas partes de nosso universo visível tão rápido que elas nunca mais entraram em contato desde então – e, provavelmente, jamais voltarão a entrar em contato –, embora tivessem entrado no passado.

Em seguida, ocorreu o Big Bang, com todos os seus campos, as suas partículas e suas partículas mensageiras aparecendo a partir da extraordinária quantidade de energia liberada pelo campo inflaton em decaimento, que, subsequentemente, se aquietou.

Então, começou a expansão de nosso universo. Uma expansão normal. Não

uma inflação super-rápida.

O campo inflaton não desapareceu completamente, mas muito de sua energia foi utilizado para desencadear o Big Bang e não teve mais impacto sobre qualquer coisa até... 8 bilhões de anos depois.

Oito bilhões de anos após o Big Bang, após 8 bilhões de anos do crescimento constante de nosso universo, a matéria que o campo inflaton gerou diluiu-se o bastante para seu vácuo ser ativado de novo, com um efeito radical: seu poder antigravitacional desencadeou uma expansão acelerada do universo.

Em 1998, a detecção experimental dessa aceleração foi o motivo de Perlmutter, Riess e Schmidt terem ganhado o Prêmio Nobel de Física, em 2011.

Claro que a maneira como o campo inflaton afeta o comportamento de nosso universo agora não é nada em comparação com a maneira pela qual ele espalhou tudo antes do Big Bang, durante a *época inflacionária*. No entanto, pode ser responsável por aquilo que o futuro reserva para nossa realidade.

*

As partes antípodas do universo como vistas da Terra agora estão muito distantes para alguma vez terem estado em contato, mas estavam *antes* do Big Bang. Portanto, as partes antípodas do céu noturno têm um motivo para se assemelharem.

Agora, a apresentação de um novo campo, o campo inflaton, é apenas uma saída em relação a um enigma, um ardil engenhoso para explicar por que pontos antípodas no céu noturno possuem a mesma temperatura ou se a inflação realmente aconteceu? É possível verificar? Surpreendentemente, é possível.

⁵⁷ A propósito, isso não expressa contradição com o limite de Einstein em relação à velocidade da luz, pois é o próprio espaço-tempo que se expandiu, e não um sinal que viajou tão rápido através dele. Dois objetos se afastando um do outro, numa velocidade maior que a velocidade da luz, jamais serão capazes de ter qualquer tipo de conversa.

Capítulo 2

Muitos Big Bangs

Algum tempo atrás, você fez um experimento com um gato. O gato de Schrödinger. A ideia subjacente era achar um ardil para transformar um comportamento quântico microscópico estranho numa realidade macroscópica observável. Bem, a inflação também faz isso. E, nesse caso, não há necessidade de um gato.

Numa escala cronológica, como acabou de ver, a época inflacionária aconteceu antes do Big Bang. O campo inflaton converteu o que era um universo extraordinariamente pequeno em algo macroscópico, num tempo incrivelmente curto.⁵⁸ Então, o campo inflaton e suas partículas fundamentais (os inflatons) decaíram em pura energia por meio de $E = mc^2$. Uma quantidade incomum de energia foi liberada, e o universo ficou inacreditavelmente quente. Eis como se entende, dentro desse cenário, o princípio do Big Bang (quente), excitando os campos que, depois, tornaram-se aqueles de que nós e tudo o mais somos feitos.

Durante a época inflacionária, a velocidade de expansão de universo foi tão fora do normal que todas as flutuações quânticas que podiam acontecer (e, portanto, aconteceram) congelaram, uma depois da outra. De modo ainda mais extraordinário, essas flutuações congeladas podem ser vistas hoje dentro do quadro eternamente preciso que os cientistas têm da radiação cósmica de fundo em micro-ondas.

A inflação prevê a uniformidade incrível da radiação de fundo que preenche o universo. No entanto, esse é um dos motivos pelos quais a inflação foi estabelecida originalmente. Não é realmente uma predição.

Mas isso também revela que deve haver algumas flutuações quânticas gravadas nessa radiação de fundo, na forma de diminutas diferenças de temperatura entre uma direção e outra. Essas diferenças são denominadas

anisotropias.

Esse fato não era conhecido, e, no entanto, essas flutuações foram detectadas: George F. Smoot e John C. Mather, astrofísicos norte-americanos, dividiram, em 2006, o Prêmio Nobel de Física por detectarem experimentalmente tanto a uniformidade extraordinária da radiação de fundo, como as anisotropias diminutas que ela contém.

Essas anisotropias são da ordem de um milésimo de um grau Celsius, mas estão ali presentes. São até consideradas as responsáveis que, posteriormente, desencadearam a formação das estrelas e galáxias.

Sem essas anisotropias, o universo seria uniforme. Uma estrela jamais poderia se formar.

Graças a essas flutuações, havia diferenças muito pequenas entre um lugar e outro em nosso jovem universo, e, então, a gravidade fez essas diferenças piorarem, amplificando-as, criando as estrelas e todas as outras estruturas de que o nosso cosmos é feito.

Agora, a inflação mistura o muito pequeno com o muito grande de novo, pois está presente durante todo o tempo, desde as flutuações quânticas durante a primeira fase do desenvolvimento de nosso universo até o nascimento das estruturas que vemos hoje nele. A inflação até insinua o que aquela misteriosa energia escura pode ser, pois essa força de antigravidade pode vir da sobra de energia do vácuo do campo inflaton.

Potencialmente, a inflação explica muito do que está inexplicado no espaço sideral. Assim, tem de ser levada muito a sério, e é. E, já que estamos tratando disso, como mencionei uma consequência um tanto desconcertante desse cenário, aqui está ela.

Como é entendido hoje, o campo inflaton não pode realmente permanecer quieto. Não pode ser um campo de “um tiro”, que aconteceu apenas uma vez, no nascimento de nosso universo. De fato, deve ter desencadeado não apenas um Big Bang, mas muitos. Uma infinidade.

Como todos os campos quânticos, o campo inflaton deve estar sujeito às flutuações quânticas, permitindo-lhe saltar localmente de um estado de vácuo para outro. Geralmente, nos campos que você viu até agora, esse processo conduz a partículas capazes de saltar de um lugar para outro, ou de aparecer do nada. Nesse caso, porém, significa que o campo é capaz de criar um pequeno universo por iniciativa própria. Ou dois. Ou muitos. Em toda parte. E, quando digo em toda parte, quero dizer isso, embora as escalas de tempo envolvidas

59 O primeiro consistia em todas as partes de nosso universo que estão além de nossa realidade observável, e o segundo era a interpretação de “muitos mundos” de Everett a respeito da mecânica quântica. O terceiro tipo é este: universos nascidos no interior de universos.

Capítulo 3

O universo sem limite A época inflacionária ocorreu antes do Big Bang.

Com a inflação *eterna*, uma infinidade de universos existiu, existe e existirá desde sempre, com o nosso simplesmente por acaso sendo o nosso. Agora, vamos imaginar *um* universo, com *um* “princípio” (independentemente do que isso signifique), com *uma* época inflacionária.

E vamos retroceder no tempo, começando no Big Bang.

Há o Big Bang: *Bum*.

E antes havia a inflação. Numa visão retrospectiva, é um colapso radical.

E então, bem, atingimos o problema.

O muro de Planck, a era de Planck, onde e quando o espaço e tempo param de fazer sentido.

Esse muro de Planck se situa a cerca de 380 mil anos antes da superfície de última difusão, a superfície do fim do universo, e, se pudermos fazer essa suposição, cerca de um tempo de Planck depois do que podemos denominar *tempo zero*.⁶⁰ No entanto, não podemos fazer essa suposição. Não podemos alcançar o tempo zero de dentro de nosso universo. Não podemos falar de um tempo onde (ou quando) o tempo não existia. Falar de “além” ou “antes” da era de Planck não faz sentido. De fato, a gravidade quântica é necessária para isso, com sua carga desconhecida de novos conceitos para substituir espaço e tempo por algumas coisas quânticas. Uma tarefa difícil, semelhante a achar uma condição inicial para a existência de nossa realidade. Difícil, mas não impossível. Stephen Hawking enfrentou esse problema há cerca de trinta anos. Ele foi o primeiro a fazer isso.

E aqui está o que Hawking fez.

Imagine seu minivocê num universo muito jovem. Um universo em que espaço

e tempo acabaram de começar a fazer sentido. É minúsculo. Um pouco maior que o comprimento de Planck, mas não muito. Você está ali dentro. Você também é muito pequeno.

E não é capaz de ver muita coisa.

Qualquer coisa que acontece numa escala menor que o comprimento de Planck está além do espaço e tempo e, portanto, está oculta de sua visão.

Você está ali, menor que minúsculo, dentro de um universo incrivelmente jovem, e tão saudável quanto cego... Mas espere... Isso não o faz se lembrar de situações em que esteve antes?

Ao visitar o mundo quântico, você não alternou para o modo iogue, com os olhos fechados, para não interagir com nada e acessar o que estava oculto da visão? Ao investigar as partes internas dos átomos, para estimar o que estava acontecendo ao seu redor, *teve* de assumir de alguma forma o modo iogue. E, para compreender o que descobriu dessa maneira, aprendeu que no mundo quântico, quando a natureza e seus gatos são deixados sem verificação, todas as possibilidades quânticas acontecem simultaneamente.

Nesse caso, é pior.

Não é um gato ou um partícula que é invisível, é o passado de nosso universo inteiro; um passado que está oculto por um muro que marca o próprio nascimento do espaço e tempo como os conhecemos. Esse muro, esse muro de Planck, está agora em todo lugar ao seu redor, e o que se situa além é inacessível aos seus sentidos.

De acordo com a lei quântica, o muro de Planck, portanto, oculta uma superposição de todas as possibilidades quânticas.

“As possibilidades de quê?”, você pode querer saber.

Bem, dos passados.

É o próprio jovem universo, como um todo, que está oculto da visão pelo muro de Planck. Assim, é o próprio jovem universo que deve ali agir de acordo com uma das regras de ouro do mundo quântico: desde que ninguém esteja olhando, todas as possibilidades podem ocorrer e ocorrem.

Hawking aplicou essa ideia ao próprio universo inicial.

No entanto, ele não pôde usar o tempo que conhecemos e usamos todos os dias. Ninguém pode usá-lo além da escala de Planck. Então, ele converteu isso em outra coisa, mais fácil de manipular, e chamou de *tempo imaginário*. Utilizando isso, ele, então, considerou todas as possíveis histórias do passado do universo, todas as histórias do passado que ninguém é capaz de ver de

dentro.

Hawking teve a ideia na década de 1980.

Ele tinha acabado de descobrir maneiras de lidar com os buracos negros quânticos. Sabia que tinham cor cinza e que emitiam partículas. Sabia que a gravidade quântica devia existir. Naquele momento, a mente de Hawking estava observando além do Big Bang.

Com seu colega James Hartle, físico teórico norte-americano, da Universidade da Califórnia, em Santa Barbara, ele elaborou uma fórmula que, para mim, mudou o universo para sempre, como ele é apreendido pela mente humana.

Hawking e Hartle supuseram que todos os universos que levaram ao nosso universo presente devem ter aparecido do nada (realmente do nada, um nada matemático), há algum tempo *imaginário* finito.

E eles consideraram todos os universos que tinham essa propriedade.

E os examinaram.

E existiam muitos.

E eles impuseram a regra de ouro do mundo quântico sobre esses universos: em vez de escolher um, para evoluí-lo subsequentemente para a nossa realidade, eles levaram em conta todos eles. Em teoria, isso significa que somaram todos, com um sinal de adição, e declararam que o resultado era o que o universo em que estamos parecia “antes” do muro de Planck, onde ninguém podia olhar para ele. Hoje, a fórmula matemática deles é conhecida como a *função de onda do universo de Hartle-Hawking*, e a condição inicial, aquela que afirma que todos os universos possíveis a serem levados em conta são aqueles que vêm a ser a partir do nada, é denominada *proposta de não limite*.

O universo, o nosso universo, do ponto de vista deles, com todos os seus estados possíveis como universo jovem, não tinha princípio.

E então se tornou nosso, algum tempo imaginário finito mais tarde, quando o espaço e tempo começaram a fazer sentido.

O que isso significa exatamente não importa aqui.

A coisa maluca é que eles fizeram isso.

Eles elaboraram uma condição inicial matemática para o universo inteiro. Eles enfrentaram matematicamente o problema da criação de nosso universo a partir do nada.

Agora, uma advertência: esse não é o fim da história. Monitorar quase todo cálculo dentro do arcabouço matemático que Hartle e Hawking propuseram é, infelizmente, bastante difícil (para não dizer impossível).

No entanto, ao elaborá-lo, tornaram-se as primeiras pessoas a dar uma fórmula matemática para a origem e subsequente evolução de nossa realidade.

Um marco notável para a humanidade.

A humanidade tentou desvendar as leis da natureza por milhares de anos.

Nossa compreensão dessas leis mudou e se aprimorou desde então.

Cem anos atrás, Einstein propôs uma nova visão acerca da gravidade, e os demais de nós começaram a entender que o passado não podia ser encontrado só debaixo de nossos pés, escavando arqueologicamente a Terra, mas também entre as estrelas. Mais ou menos no mesmo tempo, muitos cientistas começaram a descobrir as estranhas leis quânticas, que governam o mundo do muito pequeno.

E então, cerca de trinta anos atrás, animados com o resultado da evaporação do buraco negro, Hartle e Hawking começaram corajosamente a juntar tudo e desenvolver uma fórmula matemática para a origem de tudo.

No futuro, o *insight* deles pode se revelar profundamente imperfeito, é claro, e o mesmo pode ser dito a respeito de todas as ideias que nos levam além do experimento, mas isso não importa. O que importa é que a questão da origem de nosso universo ingressou numa nova era, uma era onde a física matemática pode, ao menos, investigar o assunto.

Contudo, a ideia de Hawking de considerar todos os universos possíveis usando um tempo (imaginário) diferente não veio do nada. Está enraizada nos trabalhos de algumas das mentes mais brilhantes do século XX, sobretudo Paul Dirac e Richard Feynman, que criaram esse conceito para desenvolver nossas teorias modernas de campos quânticos.

O universo visível, dentro desse cenário, ainda é uma esfera com um raio de 13,8 bilhões de anos-luz, aproximadamente. É o maior tamanho que podemos investigar. No entanto, é engraçado pensar, de novo, que, quando coletamos a luz e os sinais que são despejados sobre nós a partir do espaço sideral, quando viajamos para cada vez mais longe no muito grande, acabamos não só olhando para o passado, mas também para o muito pequeno.

Nossos antepassados não sabiam disso.

E, como vai ver agora, o oposto também pode ser válido.

Nesse momento, você está prestes a viajar para o muito pequeno de novo, mas, dessa vez, você irá para mais longe do que já esteve antes. Lá embaixo, achará uma janela que se abre para uma realidade completamente nova, uma realidade maior do que qualquer coisa com você sonhou até agora. Maior até que as bolhas dentro das bolhas dentro das bolhas da inflação eterna.

No grande, você encontrou o pequeno.

No pequeno, você agora encontrará o imenso.

Mas para onde deve olhar?

⁶⁰ Se você não se lembra e não se importa de tomar conhecimento de novo, o tempo de Planck não é muito longo: um milionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de um segundo.

Capítulo 4

Um pedaço inexplorado da realidade

Como você agora sabe, nosso universo inteiro visível é uma esfera com 13,8 bilhões de anos-luz de raio. Dessa perspectiva gigantesca, vemos primeiro filamentos de aglomerados imensos de galáxias banhadas por gases e matéria escura, e, de modo mais fundamental, todos os campos quânticos existentes. Estes não podem ser vistos de tão longe, mas podem ser sentidos. São a matéria que compõe o universo visível. São o campo de Higgs, que dá massa para tudo que tem uma massa. São o campo inflaton, ou a energia escura, que se opõe à ação da gravidade e mantém o universo se expandindo cada vez mais rápido.

E também existe a própria gravidade, trazendo tudo para mais perto de tudo. Você está lá fora, observando tudo, e começa a dar *zoom*.

Agora, você vê galáxias, com suas centenas de bilhões de estrelas. Seus buracos negros centrais supermassivos emitem jatos da luz e matéria mais

energéticos que existem. Percebe a presença da matéria escura. Você a vê impedindo as galáxias de serem destruídas por causa de sua própria rotação.

Você dá mais *zoom*.

Você está na escala das estrelas, imensas bolas de plasma pelando de quente emitindo a luz que nós, seres humanos, usamos para investigar o universo distante.

Então, vêm os planetas, mundos esféricos muito pequenos para se tornarem estrelas.

Menores ainda, há os asteroides, os cometas, os seres humanos que nosso planeta abriga debaixo de 100 quilômetros de atmosfera.

E então, vêm os micróbios, as células, as moléculas, os átomos, os elétrons, os fótons, os prótons, os nêutrons, os quarks e os glúons.

Você dá ainda mais *zoom*.

Você está de volta ao território do campo quântico.

A gravidade, aqui, está mais bem armada por todas as forças quânticas.

Você continua dando mais *zoom*. E então para.

Você se lembra do que deu errado com os campos quânticos? E da renormalização, o ardil que os físicos da teoria quântica utilizam para se livrar dos infinitos que atormentam o trabalho deles? E também de que as tentativas de considerar a gravidade da mesma forma que alguém consideraria o campo quântico fracassaram completamente, pois os infinitos que ocorriam nesse caso não podiam ser removidos de nenhuma maneira, fazendo o espaço-tempo colapsar em toda parte? São desses infinitos que agora vamos nos livrar. Atrás deles, você achará uma janela que leva para a imensa nova realidade que mencionei no fim do capítulo anterior. Você cruzará essa janela muito em breve. Mas precisamos primeiro remover esses infinitos importunos.

Como vamos fazer isso? Bem, vejamos. O que sabemos acerca do espaço-tempo? Sabemos que sua descrição usando a física do início do século XXI tem seus limites. No muito grande, esse limite se situa em algum lugar além do Big Bang, além da época inflacionária, quando o universo estava na era de Planck. Esse limite se encontra a 13,8 bilhões de anos-luz de distância no espaço e tempo.

No muito pequeno, o mesmo limite existe. E acontece em toda parte.

Dê um *zoom* sobre algo e você deve, em certo estágio, alcançar a escala de Planck.

A não ser que algo o impeça de fazer isso.

Sabemos, graças ao trabalho de Hawking a respeito dos buracos negros, que a gravidade não é blindada contra os efeitos quânticos, que a gravidade quântica existe, embora não necessariamente entendamos o que isso pode implicar para a realidade dentro de seu território.

Há um limite que podemos investigar tanto no muito pequeno como no muito grande, e esse limite é dado pelas escalas de Planck.

Alguma experiência alcançou esses tamanhos, energias ou tempos limitados num laboratório?

Não. Nenhuma. Esses limites são muito pequenos, muito energéticos, muito rápidos. Atualmente, é um limite teórico. E, para piorar as coisas, também é um limite prático, pois ninguém pode alcançá-lo.

Por quê?

Porque um minúsculo buraco negro do tamanho de Planck apareceria no processo, o buraco negro do tamanho de Planck que mencionei no fim da parte anterior. Para investigar a realidade além desse buraco negro, não teríamos outra escolha senão tentar enviar mais energia, mais luz com comprimentos de onda cada vez menores, esperando que isso ricocheteasse alguma coisa e revelasse sua existência aos nossos olhos, mas não revelaria. A luz seria engolida pelo buraco negro, apenas deixando o buraco negro maior, ocultando a escala da gravidade quântica ainda mais. Em outras palavras, no que diz respeito ao conhecimento moderno, o que se situa além da escala de Planck não pode ser investigado.

Então, o que fazemos?

Bem, podemos tentar ser espertos de novo.

E podemos, por exemplo, sugerir que nada impede a gravidade quântica, ou alguma nova física, de entrar em ação *antes* da escala de Planck.

Por meio dos melhores e mais modernos aceleradores de partículas, com o melhor uso do que pode ser observado no céu, os físicos teóricos têm confiança de que entendem como a natureza se comporta quase durante todo o tempo, desde escalas imensas, galácticas até a escala em que todos os campos quânticos se fundem em um só. A escala da grande unificação. A energia necessária para isso é de cerca de 1% da energia de Planck. É enorme, evidentemente. Corresponde a uma temperatura de cerca de 100 bilhões de bilhões de graus. Mas não é o limite de Planck.

Agora, você provavelmente se lembra de que energia e tamanho estão

relacionados: quanto maior a energia de uma onda, menor a distância entre duas cristas consecutivas. Assim, um centésimo da energia de Planck (1% dela) corresponde a um tamanho no âmbito do muito pequeno. Um tamanho que é cem vezes maior que o comprimento de Planck.

Isso significa que há um território virgem da realidade, que se estende entre cem comprimentos de Planck, no mínimo, e o próprio comprimento de Planck.⁶¹

Experimentalmente, nada se sabe a respeito do que acontece ali.

Para um físico teórico, uma boa maneira de imaginar o que parece conter essa lacuna experimental é pensar a respeito de com que o mundo pareceria se os seus olhos só permitissem que você enxergasse isso com uma resolução de um metro. Geralmente, você é capaz de ver o mundo com tamanha resolução que consegue identificar objetos mais finos que um cabelo humano, mas imagine não ser capaz de detectar nada menor que um metro. Investigando seu ambiente, você não veria nenhum detalhe, em nenhum lugar. Você nem mesmo seria capaz de ver bebês. As crianças apareceriam subitamente depois que alcançassem um metro de altura...

Não estou dizendo que talvez existam bebês menores que cem vezes o comprimento de Planck, mas não sabemos o que a natureza pode estar escondendo ali. E nossa realidade está enraizada em algum lugar no muito pequeno. Eis como ela é feita. Eis como nós somos feitos. E, como nenhuma experiência jamais investigou essas escalas, é muito possível que o espaço e tempo comecem a diferir do que estamos acostumados em algum lugar *antes* da escala de Planck. Também é possível que, por causa disso, a natureza da gravidade, da matéria e da luz também comece a mudar ali. Radicalmente.

Por exemplo, é possível que todas elas se transformem em uma coisa só.

Até agora, você viu o que era geralmente conhecido.

Então, viu que problemas surgem do que é conhecido.

Agora, está prestes a ir muito além.

E devemos supor que tudo é real, de modo que possa viajar através disso, mas lembrando que isso é teoria pura.

No entanto, alguns dos indivíduos mais brilhantes de nosso tempo trabalharam durante décadas para lhe trazer esse quadro.

⁶¹ Em junho de 2015, a energia alcançada pelo Grande Colisor de Hádrons, perto de Genebra, quebrou todos os recordes anteriores e quase reduziu à metade esse desconhecido. No entanto, teremos de esperar um ano ou dois para ouvir falar a respeito de possíveis avanços.

Capítulo 5

Uma teoria das cordas

Uma curiosa bruma de eletricidade azul circunda a silhueta de seu companheiro robô, como se uma excitação interior estivesse emanando de seus circuitos eletrônicos. Vocês estão flutuando no espaço sideral, cercados por galáxias distantes, perto do lugar onde o buraco negro do qual você escapou desapareceu completamente.

Você viu tudo o que havia para ver.

Você voou num avião muito rápido.

Você viu a flutuação no vácuo dos campos quânticos e conheceu pessoalmente a matéria e a luz.

Você viu estrelas explodindo para criar novos mundos, anãs brancas e buracos negros, que, por sua vez, viu evaporando, sugerindo a existência de uma até agora desconhecida teoria de gravidade quântica.

“Agora chegou a hora de investigar ainda mais fundo”, afirma o robô.

E, imediatamente, vocês começam a encolher.

Você vê partículas voando. A luz passa rapidamente. Vê as flutuações no vácuo de todos os campos conhecidos. E continua encolhendo. Você está na escala da grande unificação, onde se acredita que todos os três campos quânticos se comportam como um único campo. Continua encolhendo. Você está muito menor que seu tamanho de minivocê. Precisaria ampliar o que está ao seu redor um bilhão de bilhão de bilhão de vezes para acabar com a largura de um cabelo humano. Lá embaixo, inicialmente, você não vê nada. Mas então vê.

Na sua frente, há algo. Uma corda. Uma corda feita de nada. Nem mesmo de espaço e tempo. Enquanto você observa aquilo, até tem a sensação que esse objeto que vê oscilando substitui essas duas noções.

Você ainda não alcançou a escala de Planck nem seria capaz. No mundo

teórico em que está ingressando agora, a escala de Planck não existe como talvez você tenha pensado que existia. No entanto, isso não significa que aquilo que viu até agora estivesse errado. Significa que, aqui embaixo, nenhum dos conceitos que usou podem merecer confiança. Exceto os quânticos, mas aplicados às cordas, e não às partículas.

O que está oscilando bem na sua frente agora pode ser um dos elementos mais fundamentais do universo. É uma *corda quântica*.

De sua existência, pode ser possível explicar tudo o que você viu antes, incluindo a gravidade. Incluindo a existência de nosso universo inteiro.

A corda quântica na sua frente está vibrando. Quanticamente. Na realidade, você não consegue localizar suas extremidades, mas pode dizer que existem, embora tudo acerca dessa corda esteja se movendo muitíssimo rápido.

A corda é bela, vibra com uma energia jovial, e você se sente atraído por ela. Incapaz de se deter, você estende a mão e, embora a corda pareça estar oscilando por iniciativa própria, a puxa como se fosse uma corda de violão.

Embora a corda seja feita de nada, você vê diversas vibrações se empilhando, como harmônicos num instrumento musical. A maior onda estacionária, num violão real, fornece a nota principal. As outras fornecem os harmônicos superiores. Quando você observa a corda aqui, é como o borrão de uma corda de violão... Mas sem a corda do violão em si. Uma corda feita de nada, uma corda fundamental, se você quiser, capaz de oscilar. Lembre-se de que, quando a palavra “quântico” é precedida por um termo do vernáculo, é um indício de que nada é como parece. Nesse caso, uma “corda quântica” não é uma corda. A primeira vibração não gera uma nota, mas sim uma luz. Uma partícula de luz. A mensageira de uma força eletromagnética.

Todas as partículas quânticas que você encontrou antes, todas as partículas que compõem seu corpo e toda a matéria do universo, podem ser vibrações dessas cordas abertas...

Algo chama sua atenção à direita. Você virá sua cabeça menor que minúscula para ver outra corda, uma diferente. Não parece uma corda de violão, se assemelha mais a um *loop*. Também vibra. Quanticamente, de novo. E sua primeira excitação não corresponde mais à luz, e sim a um gráviton. Uma partícula mensageira gravitacional. É gravidade, quantizada. Esse circuito, essa corda fechada, por si mesmo revela que você está se deslocando dentro de uma teoria quântica da gravidade. Ponha essa corda fechada em qualquer lugar em que você possa pensar e suas vibrações terão exatamente o mesmo efeito como

a gravidade. E não vê infinito algum subsistindo em lugar algum. Os infinitos que atormentam a gravidade sumiram. Para sempre. Porque você se livrou da noção de onde as coisas acontecem no espaço e tempo. Com partículas semelhantes a pontos, num espaço-tempo liso, é fácil conceber um lugar específico onde elas podem colidir. E a teoria quântica de campos, apesar de sua estranheza intrínseca, também afirma que, quando as partículas interagem, fazem isso numa posição específica do espaço e tempo. Por meio de cordas, esse não é mais o caso. Por meio de cordas, as partículas *são* vibrações de corda. Vibrações de corda *são* partículas. Ao longo de seu comprimento e tempo. São difusão. Quando interagem, não é em algum lugar preciso nem em algum tempo específico. É ao longo da corda inteira. Não há mais nenhum “infinitamente” pequeno. E isso é o que remove todos os infinitos que você encontrou antes.

Esse *loop*, essa corda fechada, possui gravidade; assim, é gravidade. E você tem luz emanando das cordas abertas. Consideradas juntas, tornam-se uma teoria que unifica gravidade e eletromagnetismo... Portanto, as cordas quânticas são mais do que apenas uma teoria de gravidade quântica. Uma teoria de gravidade quântica “simplesmente” lida com a gravidade, de uma maneira quântica. Não se importa com os outros campos quânticos. As cordas que você está considerando aqui se importam.

Então, o que dizer dos outros campos?

Essas cordas podem ser uma teoria de Tudo, uma teoria que unifica a gravidade e todos os campos quânticos que conhecemos?

Para isso, elas também têm de considerar a matéria.

Onde está a matéria? Você não consegue ver nenhuma. Então, por que essas cordas são tão especiais? Onde está a estranheza em sua existência? Por que os teóricos estão tão empolgados com elas?

Você tem razão em querer saber, e, embora por meio daquelas duas cordas que viu, a fechada e a aberta, você já possa dizer muito, muito não é tudo.

“Vamos seguir em frente”, anuncia o robô, e vocês dois começam a encolher ainda mais.

Agora, a corda aberta é enorme em comparação a você. Quando a observa com mais atenção, você nota que existiam mais coisas do que seu olho percebeu antes. O que está prestes a fazer, nenhum ser humano feito de matéria será capaz de fazer algum dia. Mas, nesse exato momento, você será. Lembre-se disso, porém: para ir além do que é conhecido, sempre é necessário abrir mão de alguma coisa. E que terá de abrir mão aqui é a especificidade de seu

Um número enorme de possibilidades. Um “1” seguido de quinhentos zeros. O universo em que você e eu nascemos pode ser simplesmente um deles. Ou muitos podem ser como o nosso. Ninguém ainda sabe. Pode até ser que, por acaso, *todas* essas possibilidades existam em alguma fase, dentro de bolhas criadas pela inflação eterna de que você acabou de ouvir falar, mas que apenas um número reduzido delas possa criar um universo onde as leis da natureza são compatíveis com a vida como a conhecemos. Para você ser, para você existir, como ser humano, um conjunto específico de formas extradimensionais deve ter sido selecionado, ou as leis da natureza não permitiriam nossa existência. Como esse seleção ocorreu? Ninguém tampouco sabe, exceto que tiveram de ter sido selecionadas, para você existir aqui, em nosso universo. Esse argumento de seleção é denominado *princípio antrópico*. Afirma que, entre as inúmeras possíveis formas que as dimensões extras podem assumir, apenas aquelas compatíveis com a existência dos seres humanos precisam ser levadas em conta para estarmos aqui, ou não estaríamos presentes para falar a respeito delas. É uma bela ideia. E fica melhor. Em vez de todas elas serem minúsculas, uma ou mais de uma dessas dimensões extras pode ser enorme.

“Venha comigo”, pede o robô, acenando com seu tubo de lançamento de partículas para você segui-lo. “Talvez nunca mais vejamos isso.”

E a coisa mais extraordinária acontece.

Desde sempre, você aprendeu que é impossível observar o universo de fora dele. Aquela conversa a respeito de sua margem, de seu limite, é absurda. Por definição, o universo é tudo que está ali. Era sem sentido tentar imaginar o que ele talvez parecesse de cima ou de baixo. E, no entanto, deslocando-se numa direção que não é para cima, nem para baixo, nem para a esquerda, nem para a direita, nem para a frente, nem para trás, o robô está, nesse momento, levando-o para fora dele. Suas margens, agora parece, existem. Mas não estão dentro das dimensões que seus sentidos habituais conseguem perceber.

Você está fora dele.

Você o vê todo.

Seu universo inteiro.

De outra dimensão. E percebe que as cordas abertas, os cadarços de sapato, cujas vibrações originam a luz, estão agora vibrando de muitas maneiras diferentes, dependendo das dimensões ocultas em que elas se estendem. E você também percebe que todas as extremidades das cordas abertas estão presas ao seu universo, o universo que você acabou de deixar, enquanto as cordas

fechadas – os circuitos, as que vibram como gravidade –, estão livres para perambular do lado de fora, para deixar o universo...

E, quando se dá conta de algo às suas costas, você se vira, e suspira.

Há outro universo.

Paralelo ao seu, ao nosso. E você vê cordas fechadas se moverem de uma para outra, mostrando que elas podem se comunicar através da gravidade. Esse é o quarto tipo dos universos paralelos, o mais impressionante de todos. Essas coisas são denominadas *branas*, como membranas, mas sem o “mem”, para mostrar que podem ser mais do que lâminas, mais que bidimensionais. O que está vendo é uma brana, um outro universo, mas podem existir muitas. E também podem ter muitas dimensões diferentes. E todas podem se transformar em uma outra, e se comportar como cordas, quando o físico matemático que as estuda muda a maneira pela qual todas elas interagem. Podem ser entes distintos ou podem ser aspectos distintos da mesma realidade, uma realidade considerada de diferentes pontos de vista. E tudo isso ainda pode ser um aspecto de uma realidade maior, independentemente do que “realidade” possa significar nesse caso. E alguns cientistas, liderados por Juan Maldacena, brilhante físico teórico argentino, até mostraram que tudo isso pode ser entendido sem gravidade, como se cada universo individual aqui pudesse ser descrito pelo que acontece em um limite em algum lugar...

A verdade se apossa de sua mente. Você está fora do universo.

E há outros universos por perto, em toda parte, de diferentes dimensões. E há dimensões minúsculas em que as cordas se enrolam, dentro e ao redor desses universos, fazendo-as vibrar na matéria e na luz que são proibidas de deixar sua brana, o universo delas, seu universo. Suas extremidades são livres para se mover dentro das dimensões em que você nasceu, mas não podem deixá-las.

De onde você está, depois de ver loops de corda fechada se movendo de uma brana a outra, percebe que alguma energia talvez seja capaz de deixar seu universo. Você até vê o que acredita serem buracos negros ligando branas próximas através de um tubo de espaço-tempo distorcido, com a gravidade de cada brana atraindo as outras, e você, de repente, se pergunta se, por algum acaso, pode haver outras pessoas vivendo nessas outras branas... Os buracos negros podem ser uma passagem entre seu mundo e o delas? A singularidade que você não alcançou pode ser abrir para outra realidade? Poderia o nascimento de nossa brana, de nosso espaço-tempo, estar ligado a colisões com outras branas que existiram antes? A matéria escura e a energia escura podem ser explicadas pela existência das branas?

Dirigindo seu olhar de volta para o universo que você acabou de deixar, subitamente parece que algo aconteceu com o fluxo do tempo, e vê bolhas de universos inflacionários novos surgirem em toda parte dentro do seu, dentro de sua brana, espalhando-se dentro do que era seu mundo como gotas de óleo sobre a superfície de um lago.

“Temos de voltar!”, grita você.

Mas você está sozinho.

O robô não está em nenhum lugar.

E você escorrega para dentro da brana próxima, esperando que seja aquela em que veio.

E você começa a crescer.

As outras branas voltam a ficar invisíveis, e as cordas que podem compor sua realidade desaparecem na distância.

Agora, os quarks e os glúons estão ao seu redor. Agora, os prótons e, depois, os elétrons: os átomos. As moléculas. Poeira. Areia. O mar.

Você abre os olhos.

Está na sua praia deserta.

Exatamente no mesmo lugar onde começou sua jornada.

As estrelas estão brilhando.

Uma brisa suave traz os cheiros de flores exóticas.

Seus amigos estão ao redor.

Sorriem.

“Ele acordou!”, exclama um deles. “Sirva uma bebida para ele!”

Você se senta, confuso.

A bebida chega.

Você se belisca. Dói.

Você dá um gole.

Você observa o mar, as árvores, as estrelas.

Formas.

Formas estão aparecendo lá em cima, no céu noturno. Rostos.

Newton. Maxwell. Einstein. Planck. Schrödinger. Dirac. Feynman. Hawking. ‘t Hooft. Weinberg. Maldacena. Witten.

E inúmeros outros.

Todos sorrindo. Todos olhando para você.

Você quer conversar com eles, mas, em vez disso, eles se viram para contemplar a majestade do espaço sideral.

E, então, todos eles desaparecem nas estrelas.

E as próprias estrelas desaparecem, assim como o mar.

Você pisca.

Você está de novo em sua casa, em seu sofá.

Sua janela está aberta.

Você se senta e olha ao redor.

Seu café ainda está ali, em cima da mesa.

Você volta a se beliscar. Ainda dói.

Você dá um gole para acordar a mente.

O café e sua sala de estar alcançaram uma temperatura de equilíbrio.

Você cospe o café.

“Eu estou... Eu estou bem”, diz você, em voz alta, mas se estica para pegar o telefone e ligar para sua tia-avó, só por garantia.

E, então, você pisca de novo.

Epílogo

Ao longo da história, os filósofos – e agora os físicos teóricos – tentaram imaginar o mundo em suas mentes. Para desvendar suas leis, as leis da natureza, leis cuja existência é evidente para todos nós (mas cuja linguagem permaneceu oculta de nós por um tempo muito longo), eles se projetaram em situações que não eram possíveis física ou experimentalmente. Essas experiências são denominadas *experimentos mentais*. São experiências de pensamento puro.

Ao longo deste livro, você praticou uma sucessão desses experimentos mentais. Elas permitiram que viajasse, apenas em pensamento, através do universo como é conhecido hoje, e além dele.

Schrödinger utilizou esse processo para mostrar como regras quânticas estranhas devem aparecer quando ligadas aos eventos cotidianos, macroscópicos. Ele acabou com um gato nem morto, nem vivo, mas vivo e morto. De fato, matéria estranha, mas que se provou correta agora.

Einstein também fez uso de experimentos mentais. Ele imaginou qual seria a aparência da realidade se a velocidade da luz fosse um limite de velocidade fixo. Para isso, ele se sentou sobre um fóton. Olhando para o mundo dali, em sua mente, ele propôs a teoria da relatividade especial, que, de forma notável, revela-nos que, um avião viajando tão rápido quanto aquele em que você viajou realmente pousaria 400 anos no futuro. Isso também se provou correto. E ele prosseguiu, falando-nos a respeito do que consistia a gravidade e levando o mundo a descoberta de proporções desconcertantes, mesmo um século depois. A intuição, embora não baseada no senso comum que permitiu que nossa espécie sobrevivesse até agora, é o que impulsionou as pesquisas por mais de um século.

Em 11 de fevereiro de 2016, um artigo científico assinado por mais de mil cientistas do mundo todo anunciou que a capacidade da humanidade de perscrutar o passado e o presente do universo tinha ingressado em uma nova era.

Pela primeira vez na história, as ondas que se propagam pelo tecido de nosso universo foram detectadas. Em 1916, foram previstas por Einstein, e, embora uma prova indireta de sua existência tenha sido descoberta, em 1974, pelos físicos norte-americanos Joseph Hulse e Russel Taylor (em 1993, eles receberam o Prêmio Nobel por isso), as ondas em si tinham permanecido elusivas. Até agora.

Graças à previsão de Einstein, feita há um século, temos um novo instrumento para observar o espaço sideral. Um instrumento que não reage à luz, mas sim a outra coisa: ondas gravitacionais, ou seja, distorções muito pequenas do espaço e do tempo que se movem através de tudo na velocidade da luz. Inclusive através da Terra. Inclusive de você. Essas ondas fazem nosso tempo, as pessoas – e tudo – oscilar quando passam. Desde sempre, a humanidade foi alheia a essas ondas. Não mais.

Mas Einstein não é o único. Todos os rostos que você viu nas estrelas, pouco depois de acordar na praia, eram dos gigantes do passado e do presente. Evidentemente, não posso mencionar todos eles, são muitos, mas essas são as pessoas cujo legado continua a tornar nosso mundo mais bem conhecido e mais vasto, no momento. Eles construíram a narrativa de nossa espécie. Escreveram, página após página, o livro do que conhecemos até agora a respeito de nossa realidade. A maioria deles não é conhecida pelo grande público, mas, não obstante, são importantes.

No entanto, lembrando-se de como sua jornada começou, você pode perceber que não achou uma maneira de salvar a Terra da futura explosão do Sol. Você pode não ter nem achado uma maneira de proteger nosso planeta de todas as possíveis catástrofes capazes de acontecer antes disso. Mas descobriu as ferramentas que capacitarão nossa espécie a fazer isso, e sobreviver. Nossos cérebros. Nossas mentes. Nossa imaginação. Ciência.

No que diz respeito ao conhecimento atual, é impossível viajar de uma parte do universo para outra numa vida, ou até em mil. Você só pode fazer isso em sua mente. No entanto, há apenas algumas gerações, eram necessários meses para navegar da Europa para a Austrália. Atualmente, são necessárias apenas algumas horas de voo. Não sabemos o que a tecnologia do amanhã fará do trabalho teórico. Não sabemos o que a relatividade geral nos permitirá fazer um dia. Hoje, como mencionei anteriormente, ela nos deu o GPS. Apenas o GPS. Amanhã, pode nos permitir encontrar atalhos no espaço-tempo, os assim chamados *buracos de minhoca*, que podem ligar dois lugares distantes sem precisarmos cruzar as extensões muito grandes que os separam. E você viu que

há um sem-número de outros planetas, mundos que talvez um dia nos acolham...

Até agora, nós, seres humanos, conseguimos viajar além das nuvens, para a Lua, e enviamos robôs para o limite do sistema solar. Além desse limite, a humanidade viu, em vez de viajar, e você sozinho examinou tudo o que é conhecido, e desconhecido, numa sucessão de experimentos mentais. Graças a essas viagens mentais, você reuniu a soma do conhecimento da física teórica do início do século XXI.

Porém, uma parte do que você aprendeu ao longo dessa jornada pode acabar se revelando incorreta.

Matéria escura, energia escura, mundos paralelos e realidades paralelas são teorias que podem acabar sendo abandonadas, mas são as ideias mais poderosas de nosso tempo. Elas correspondem a como a humanidade está tentando, hoje, compreender nosso universo. Em dois séculos, tudo isso pode ser descartado ou aceito. Não sabemos. Contudo, viver hoje significa estar cercado por essas ideias extraordinárias. Assim, antes de deixar que você considere tudo isso por sua própria conta, eis um último resumo do que viu, e mais um pouco.

*

Como você sabe, Newton não descobriu a derradeira teoria da natureza, a assim chamada e até agora elusiva teoria de Tudo, que aludi há algum tempo, e para a qual a teoria das cordas pode ser uma antagonista. A teoria de Newton nem mesmo explica a órbita estranha de Mercúrio, e muito menos a expansão do espaço-tempo. Assim, de certa maneira, sua teoria está incorreta. No entanto, é deveras brilhante. Pode até ser classificada como perfeita: sabemos onde funciona e sabemos onde e por que não funciona. Conseguimos utilizá-la dentro de escalas (aproximadamente) que podem ser captadas pelas nossas mentes humanas: em algum lugar no meio do muito grande e do muito pequeno, em velocidades que não são muito altas, onde as energias envolvidas não são intensas demais. O mundo como o experimentamos, a evolução do mundo detectada através de nossos sentidos, está contido dentro dos limites válidos da teoria de Newton. Nosso senso comum está enraizado ali.

Mas há coisas que se situam mais além. No muito rápido, no muito pequeno,

no muito grande ou no muito energético. Nesse mais além, as leis de Newton não têm serventia, e nossos sentidos não ajudam, mas, no entanto, surpreendentemente, a humanidade conseguiu desvendar as leis da natureza que se aplicam onde não podemos ver. As teorias quânticas de campos se aplicam no muito pequeno, e a teoria da relatividade geral assume o comando do muito grande e do energeticamente muito denso.⁶² No meio dessas duas teorias, Newton é rei. Onde a teoria de Newton não funciona, fenômenos novos e estranhos começam a ser detectados, e previstos, sugerindo que realidades novas e misteriosas delimitam a nossa.

Tanto as teorias quânticas de campos quanto a teoria da relatividade geral abriram nossos olhos e mentes para um universo muito mais vasto do que tinha sido imaginado por qualquer um de nossos antepassados, mas, no entanto, essas teorias também têm limites. Ao contrário da teoria de Newton, porém, ninguém sabe com certeza o que existe além. Ao longo deste livro, você percorreu essas teorias extraordinariamente bem-sucedidas e, na última parte, fez uma tentativa cuidadosa de dar um passo além. Você ingressou num universo cujos constituintes básicos são feitos de cordas e branas, um universo feito de múltiplas realidades e possibilidades, de vácuos quânticos levando a leis estranhas, em universos que não são o nosso.

A visão extraordinária de Einstein foi perceber que a gravidade não era o que Newton tinha pensado. Ele demonstrou que era devido a curvas e declives. A gravidade, a matéria e a energia estão todas ligadas de uma maneira muito direta: nosso universo possui um tecido, denominado espaço-tempo, com curvas e formas que são causadas por aquilo que ele contém, por aquilo que se situa dentro. O efeito dessas curvas sobre os objetos próximos e a luz é o que denominamos, o que experimentamos como, gravidade. Essa é a teoria da relatividade geral. Tem cem anos. Para descobrir a forma local do universo fora de uma estrela, para descobrir como sua gravidade afeta suas cercanias, só precisamos saber a energia contida dentro da estrela. Diversos cientistas fizeram esse cálculo, começando com o físico alemão Karl Schwarzschild.

Em 1915, no mesmo ano que Einstein publicou sua teoria, numa época em que apenas um número reduzido de homens e mulheres de todo o mundo entendiam do que a mesma consistia, Schwarzschild descobriu a geometria exata do espaço-tempo fora de uma estrela. Na ocasião, Schwarzschild tinha 43 anos, e alcançou o feito enquanto lutava no front russo durante a Primeira Guerra Mundial. Ele morreu alguns meses depois, por causa de uma doença

que contraiu no conflito. As guerras privaram a humanidade de inúmeros indivíduos, incluindo muitos que, como Schwarzschild, poderiam ter nos ajudado a entender o mundo melhor e com mais rapidez.

Porém, depois do trabalho de Schwarzschild, foi possível estimar como os objetos e a luz se moviam ao redor de uma estrela. Tal trabalho ajudou a dar a órbita correta de Mercúrio e demonstrar que a luz em si devia ser defletida pelo Sol. Em 1919, uma expedição liderada por sir Arthur Eddington, astrônomo britânico, detectou essa deflexão (não observada anteriormente). Nesse ano, fotografias tiradas durante um eclipse total do Sol mostraram que as estrelas perto do Sol não estavam onde deveriam estar. Em vez disso, apareceram precisamente onde a teoria de Einstein previra que estariam, após serem defletidas pelo efeito do Sol sobre o espaço-tempo. A luz em si está sujeita à gravidade.

Pouco depois da morte de Schwarzschild, o mesmo mecanismo foi aplicado a objetos ainda maiores – galáxias – levando à previsão de que miragens cósmicas estranhas – arcos de luz flutuando no meio do universo longínquo – existem. Eram imagens de galáxias ainda mais distantes, cuja luz se distorcia em seu caminho até nós. As galáxias, consequentemente, estavam agindo como lentes cósmicas, permitindo-nos enxergar atrás delas, para ver mais longe, dentro da história de nosso universo. Essas lentes e miragens foram detectadas mais de sessenta anos depois da publicação do trabalho de Einstein, em 1979. Agora, elas podem ser vistas em quase toda imagem do espaço longínquo obtida por nossos telescópios. Não por acaso, elas revelam que a interpretação geométrica da gravidade por Einstein funciona não só bem perto do Sol, mas também em todo o espaço sideral.

A relatividade geral nos deu uma nova visão do universo.

Nesse instante, você, eu, todos nós estamos cercados por toda a informação do passado que nos alcança agora. Estamos sentados no centro de nossa realidade visível, e tudo dentro dessa realidade obedece à lei de Einstein, exceto dentro dos buracos negros. O mesmo se aplica ao nosso entendimento a respeito de matéria e luz: o universo inteiro visível é governado pelas mesmas leis que se aplicam em nossa vizinhança cósmica. A matéria da qual somos feitos, a luz que ricocheteia de nossa pele, todas elas obedecem às mesmas leis quânticas, em toda parte de nosso universo visível.

A ligação das leis para o distante com as leis para o próximo levou à descoberta de que nosso universo tem uma história, que possui um Big Bang em seu

passado, que as eras cósmicas antigas podem ser lidas nas estrelas, usando a luz, até um ponto em que a luz não pode se mover. Esse momento, esse lugar no passado de nosso universo, quando o espaço-tempo se tornou bastante grande para a luz se mover livremente, denominamos superfície de última difusão. O universo estava a uma temperatura de 3 mil graus Celsius no momento em que desapareceu. Antes disso, o universo inteiro era opaco. Depois, ficou transparente. O que hoje permanece da temperatura que irradiou naquele tempo é o que denominamos radiação cósmica de fundo em micro-ondas. Nela estão marcas do que existiu antes.

Além desse passado, observar o céu noturno só pode levar a inferências indiretas a respeito do que era outrora. Um dia, poderemos usar nossos novos olhos, os detectores de onda gravitacional, para receber sinais de muito distante, mas ainda não chegamos lá. Até então, temos de recriar as condições que eram ubíquas outrora, no volume extremamente pequeno em que nosso universo estava confinado durante sua infância, a fim de entender o que aconteceu.

E, desde a década de 1970, os aceleradores de partículas têm feito exatamente isso. E eles nos levaram a um nível sem precedentes de confiança nas teorias utilizadas para investigar o mundo das partículas e da luz. As teorias quânticas de campos nos deram um quadro factível do que é o nosso universo e do que era feito, até um bilionésimo de um bilionésimo de um bilionésimo de segundo após o presumido nascimento do espaço e tempo como os conhecemos, um nascimento cuja existência é uma previsão da teoria da relatividade geral de Einstein.

E, desde a década de 1970, também sabemos que a relatividade geral apresenta falhas, que há limites para o que ela pode alcançar. Ali, dentro de suas armadilhas, uma nova teoria é necessária, uma teoria de gravidade quântica, e mais. O que é essa teoria, ainda não sabemos.⁶³ Mas sabemos que existe. É o que sugere a evaporação do buraco negro.

Ao encolher para descobrir onde essa nova teoria podia se situar, você acabou ingressando numa realidade completamente nova, uma realidade feita de cordas, branas e outras dimensões. Foi um passo na direção da teoria das cordas, talvez a mais popular antagonista de uma teoria da gravidade quântica, ou de uma teoria de Tudo, embora ainda tenha de propor previsões que possam ser experimentalmente verificadas.

E foi na paisagem dessas teorias das cordas e branas, às vezes chamada de *teoria-M*, que o robô alcançou o fim de seu tempo como seu guia através do

espaço, tempo e mais além, pois você entrou num lugar onde nem mesmo os supercomputadores mais poderosos inventados pelo homem são capazes de entrar. Só as mentes humanas conseguem alcançá-lo. Ali, finalmente, está livre para descobrir o que quiser a respeito do mundo em que vive.

*

Quase não há dúvida de que as descobertas por vir, tanto teóricas quanto experimentais, alcançarão um conhecimento maior que o atual, abrindo novas janelas para um universo que é ainda mais extraordinário do que qualquer ser vivo de hoje imagina. Então, a teoria da relatividade geral e as teorias quânticas de campos podem se tornar perfeitas, como a de Newton, pois saberemos *por que* elas falham em determinadas situações, e o que assume o comando. Por enquanto, porém, elas estão incorretas no mesmo sentido em que a de Newton estava.

E, graças a esses erros, podemos perscrutar o desconhecido.

Sem Newton, pela falta de algo para comparar, não teríamos notado o leve desvio da órbita de Mercúrio.

Sem a discordância de Mercúrio com a previsão de Newton, e sem a incapacidade de Newton explicar o que acontece quando os objetos se deslocam muito rápido, não teríamos o *insight* de Einstein a respeito de como o tecido do universo interage com seus conteúdos.

Sem as equações de Einstein, seríamos como nossos antepassados, ignorantes do fato de que nosso universo possui uma história. Não teríamos construído um quadro de como nosso universo funciona como um todo. Sem esse quadro, não teríamos achado as ondas gravitacionais e a matéria escura. Nem a energia escura.

E o amanhã? Que mudanças trará o nosso novo instrumento, o detector de onda gravitacional?

Quatrocentos anos atrás, quando Galileu, físico e filósofo italiano, apontou seu recém-inventado telescópio para o céu, é provável que tenha se tornado o pai da astronomia observacional. E viu que Júpiter tinha luas. Viu que existiam corpos celestes orbitando algo que *não* é a Terra. Isso demoliu definitivamente a concepção (errônea), que durava milhares de anos, de que tudo girava ao redor de nosso planeta, de que a Terra era o centro do universo. Por meio de suas observações, Galileu preparou o terreno para a exploração científica de uma realidade incomensuravelmente maior do que a prevista.

Quatrocentos anos depois, o telescópio de Galileu se transformou no

telescópio espacial Hubble, no telescópio de raios X, no telescópio de radiação ultravioleta e no radiotelescópio, junto com outros instrumentos baseados na luz, que responderam a diversas perguntas a respeito do cosmos, e de nossas origens, levando, por fim, à ideia de que nosso universo não tinha sempre existido.

No entanto, a luz não se propaga através de qualquer coisa. Do mesmo modo que não podemos enxergar o que está atrás de uma parede, na maioria das vezes não somos capazes de enxergar, usando a luz, o que está do outro lado da Via Láctea, ou atrás de uma galáxia longínqua, pois a poeira, as estrelas e, às vezes, outras galáxias estão no caminho, colocando-nos em sua sombra. O mesmo não ocorre com as ondas gravitacionais. Elas não criam sombras. Exceto atrás de buracos negros. Portanto, uma revolução do pensamento de proporção similar à de Galileu pode estar próxima: temos um novo olho para observar o cosmos.

A primeira onda gravitacional já registrada foi a marca reveladora de dois buracos negros se fundindo. Não tínhamos prova de que buracos negros poderiam se mover um ao redor do outro, e muito menos que poderiam se fundir. Essa descoberta por si só já é merecedora de um Prêmio Nobel.

Nos meses e anos vindouros, não resta dúvida de que encontraremos muito mais buracos negros, talvez por toda parte, de diversos tamanhos, e nossas teorias a respeito da vida desses monstros cósmicos estranhos será, finalmente, posta à prova. Desde o nascimento até a morte. No entanto, o interior de um buraco negro ainda permanecerá além do alcance experimental (uma vez no interior, nem ondas gravitacionais conseguem escapar), mas sua superfície e seu horizonte poderão agora ser investigados. Graças ao sinal captado em setembro de 2015, parece que a humanidade tinha razão a respeito de algumas de suas propriedades, sugerindo que os buracos negros teóricos realmente correspondem aos reais: seu tamanho e sua forma dependem somente de alguns poucos parâmetros; a saber, a massa, a carga e a maneira que giram ao redor de si mesmos. Isso é conhecido como o *teorema da calvície* do buraco negro. Esse teorema foi desenvolvido (e assim chamado) há cerca de cinquenta anos, aproximadamente, por John Archibald Wheeler, o extraordinário físico que supervisionou as teses de doutorado de Richard Feynman, Hugh Everett III e... Kip Thorne, um dos pais dos detectores dos LIGO, que captou essas ondas.

Graças ao teorema da calvície, as colisões dos buracos negros e outras perturbações do espaço-tempo certamente se tornarão sinais perfeitos para estimar distâncias longínquas, dando-nos maneiras de verificar o que foi

deduzido, até agora, mediante o uso apenas da luz. A natureza da matéria escura e a existência da energia escura estão na balança aqui. Logo, deveremos saber.

Agora, se você está querendo saber o que *não* é esperado... bem, eu também quero! Veremos a prova das dimensões extras? Descobriremos algo em que nunca pensamos? Tomara. Acabamos de construir um novo olho para nós, e o melhor que um novo olho pode revelar é o inesperado, o imprevisível, para nos alimentar com novos mistérios a serem solucionados.

Em 2017, três detectores de ondas gravitacionais devem estar funcionando simultaneamente: dois nos Estados Unidos (são os LIGO) e um na Itália (o VIRGO). Por enquanto, conseguem apenas detectar ondas gravitacionais cujas fontes estão até 1,5 bilhão de anos-luz de distância, aproximadamente. Em um ano, devem alcançar uma distância três vezes maior. No entanto, também há o projeto LISA, da Agência Espacial Europeia: uma antena de ondas gravitacionais situada no espaço muito mais eficiente que o LIGO e o VIRGO. Com certeza, sua construção ganhará um grande impulso agora. Meu sonho é que essa antena detecte as ondas originárias de além da superfície de última difusão, através da opacidade da infância tumultuada de nosso universo. Isso nos permitiria “ver” – sejamos otimistas – a era da inflação (se for real), os buracos negros que nasceram logo depois e, quem sabe, o próprio Big Bang. Ou, ainda melhor, algo completamente diferente, alguns erros para achar o certo.

Os erros são necessários para achar o certo, para avançar.

Da próxima vez que você observar as estrelas e a Lua, espero que se lembre de quão estranho, vasto e belo é esse nosso universo, pois é ampliando nossos conhecimentos e sonhos coletivos e, ao mesmo tempo, procurando belezas e mistérios ocultos, que acharemos o caminho para a sobrevivência de longo prazo do gênero humano.

⁶² E o muito rápido pertence a ambos.

⁶³ E até é possível a existência de diversas teorias, em vez de apenas uma.

Agradecimentos

Escrever um livro não é uma tarefa fácil. Fato menos levado em conta, mas igualmente verdadeiro, é que escrever um livro também é um processo muito egoísta.

Por ter me permitido fazer isso, e por me ajudar ao longo desse processo, sou imensamente grato a Lauren, minha maravilha bela e brilhante feita de poeira estelar.

Escrever um livro é uma coisa, mas publicá-lo é outra. Tenho de agradecer a muitas pessoas. Em ordem cronológica: **Philippa Donovan**, da Smart Quill Editorial. Depois de ler a proposta de meu humilde projeto (escrever um “livro científico pop e fácil de ler a respeito de tudo o que é conhecido a respeito de nosso universo, desde antes do Big Bang até os dias de hoje”), em vez de depositá-la calmamente na lata de lixo, ela me apresentou ao melhor agente de todos os tempos.

Antony Topping, da Greene & Heaton Literary Agency, é o melhor agente de todos os tempos. E também o melhor amigo que um livro, ou um autor, poderiam esperar.

Jon Butler, que espero que saiba, como eu sei, quanto este livro deve a ele. Seu estímulo foi criativo, inspirador, amável, incisivo e, sobretudo, compreensivo. Sinto-me feliz que ainda temos algumas questões teóricas para discutir – ao redor de algumas boas cervejas, espero.

Kate Rizzo, da Greene & Heaton Literary Agency, graças a quem este livro está prestes a viajar ao redor do mundo. E talvez até além. Ela é capaz.

A todo o pessoal da Macmillan, pela sagacidade e pelo entusiasmo. Sem **Robin Harvie**, **Nicholas Blake** e **Will Atkins**, este livro jamais seria tão legível, e eu nunca ficaria tão orgulhoso.

Antes que eu pudesse entregar um manuscrito deste livro ao meu ex-orientador **Stephen Hawking**, tive de me certificar de que não existiam erros no texto, e me sinto muito orgulhoso de ser capaz de agradecer aos meus amigos cientistas, que, generosamente, concordaram em despendar parte de seu precioso tempo na leitura dos originais deste livro: **David Tong**, professor de física teórica da Universidade de Cambridge, no Reino Unido; **James Sparks**, professor de física matemática da Universidade de Oxford, no Reino Unido; **Andrew Tolley**, professor-assistente de física da Case Western Reserve University, nos Estados Unidos; e **Cristiano Germani**, pesquisador da cátedra Ramón Y Cajal, do Instituto de Ciencias del Cosmos, da Universidade de Barcelona, na Espanha. Sou grato a todos vocês.

Obviamente, sou o único responsável por qualquer erro que conseguiu se infiltrar furtivamente no livro publicado.

Tendo sido capaz de dar a você, **Stephen Hawking**, um exemplar do livro, usarei essa oportunidade para expressar a honra de ser capaz de agradecê-lo: você me apresentou às maravilhas da física teórica. Tudo o que aprendi a respeito de nossa realidade, comecei aprendendo com você, que me ensinou a pensar acerca desse nosso belo mundo, um mundo tornado ainda mais belo pela existência de pessoas como você.

Fontes bibliográficas

Para um livro como *O universo em suas mãos*, é difícil descrever exatamente de onde vêm os conteúdos. Não sou a pessoa que descobriu as teorias, mas dei o meu melhor para interpretá-las.

Suponho que a maior parte do material esteja enraizada em compêndios do nível de estudantes de pós-graduação e nas discussões que tenho tido com Stephen Hawking e outros professores brilhantes.

No entanto, não resta dúvida de que também se baseia em palestras e conferências que acompanhei no Department of Applied Mathematics and Theoretical Physics (DAMTP), da Universidade Cambridge, no Reino Unido, ou em visitas que fiz ao California Institute of Technology (Caltech), em Pasadena, nos Estados Unidos, ou ao Kavli Institute of Theoretical Physics, em Santa Barbara, nos Estados Unidos, onde costumava passar cerca de um mês, todos os anos, na companhia de Stephen e seus outros alunos de doutorado (Thomas Hertog, James Sparks e Oisín Mac Conamhna).

Não sou capaz de listar todos os artigos especializados que li no arXiv durante a escrita deste livro. Foram inúmeros.

Mas eis uma lista incompleta de alguns livros notáveis que muitas vezes folhee. Cuidado: não são livros de divulgação científica, fáceis de ler. No entanto, são excelentes, e gostaria de registrá-los aqui, pois foram muito importantes para mim.

*

Gravitation, de Charles W. Misner, Kip S. Thorne, John Archibald Wheeler (W. H. Freeman, 1973).

General Relativity, de Robert M. Wald (University of Chicago Press, 1984).

The Large Scale Structure of Space-Time, de Stephen W. Hawking e George R. Ellis (Cambridge

University Press, 1975).

Black Hole Physics, de Valeri P. Frolov e Igor D. Novikov (Springer, 1998).

The Mathematical Theory of Black Holes, de Subrahmanian Chandrasekhar (Oxford University Press, 1998).

An Introduction to Quantum Field Theory, de Michael E. Peskin e Daniel V. Schroeder (Perseus Books, 1995).

Quantum Field Theory in a Nutshell, de A. Zee (Princeton University Press, 2010).

Quantum Fields in Curved Space, de N. D. Birrell e P. C. W. Davies (Cambridge University Press, 1984).

The Quantum Theory of Fields, vols. 1, 2 e 3, de Steven Weinberg (Cambridge University Press, 1995).

Superstring Theory, vols. 1 e 2, de Michael B. Green, John H. Schwarz e Edward Witten (Cambridge University Press, 1987).

String Theory, vols. 1 e 2, de Joseph Polchinsky (Cambridge University Press, 2000).

Quantum Gravity, de Carlos Rovelli (Cambridge University Press, 2007).

Euclidean Quantum Gravity, editado por Stephen W. Hawking e Gary W. Gibbons (World Scientific, 1993).

Índice

[CAPA](#)

[Ficha Técnica](#)

[Prefácio](#)

[PARTE I O cosmos](#)

[Capítulo 1 Um estrondo silencioso](#)

[Capítulo 2 A Lua](#)

[Capítulo 3 O Sol](#)

[Capítulo 4 Nossa família cósmica](#)

[Capítulo 5 Além do Sol](#)

[Capítulo 6 Um monstro cósmico](#)

[Capítulo 7 A Via Láctea](#)

[Capítulo 8 O primeiro muro no fim do universo](#)

[PARTE II Decifrando o espaço sideral](#)

[Capítulo 1 Lei e ordem](#)

[Capítulo 2 Um pedaço de rocha incômodo](#)

[Capítulo 3 1915](#)

[Capítulo 4 Camadas de passados](#)

[Capítulo 5 Expansão](#)

[Capítulo 6 Sentindo a gravidade e suas ondas](#)

[Capítulo 7 Cosmologia](#)

[Capítulo 8 Além de nosso horizonte cósmico](#)

[Capítulo 9 A evidência incontestável do Big Bang](#)

[PARTE III Rápido](#)

[Capítulo 1 Preparando-se](#)

[Capítulo 2 Um sonho peculiar](#)

[Capítulo 3 O nosso próprio tempo](#)

[Capítulo 4 Como nunca envelhecer](#)

[PARTE IV Um mergulho no mundo quântico](#)

[Capítulo 1 Um pedaço de ouro e um ímã](#)

[Capítulo 2 Feito um peixe no mar](#)

[Capítulo 3 Ingressando no átomo](#)

[Capítulo 4 O duro mundo do elétron](#)

[Capítulo 5 Uma prisão peculiar](#)

[Capítulo 6 A última força](#)

PARTE V Rumor à origem do espaço e tempo

Capítulo 1 Ter confiança

Capítulo 2 O nada não existe

Capítulo 3 Antimatéria

Capítulo 4 O muro além do muro

Capítulo 5 Os passados perdidos estão em toda parte

PARTE VI Mistérios inesperados

Capítulo 1 O universo

Capítulo 2 Infinitos quânticos

Capítulo 3 Ser e não ser, de preferência

Capítulo 4 Matéria escura

Capítulo 5 Energia escura

Capítulo 6 Singularidades

Capítulo 7 Cinza é o novo negro

PARTE VII Um passo além do que é conhecido

Capítulo 1 De volta ao princípio

Capítulo 2 Muitos Big Bangs

Capítulo 3 O universo sem limite

Capítulo 4 Um pedaço inexplorado da realidade

Capítulo 5 Uma teoria das cordas

Epílogo

Agradecimentos

Fontes bibliográficas